

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Řízení skleníku  
Control of the Greenhouse

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Adam Sikora**

Studijní program:

B0714A150001 Řídicí a informační systémy

Téma:

**Řízení skleníku**  
**Control of the Greenhouse**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je tvorba mikropočítačového systému pro regulaci průmyslového skleníku. Mikropočítačový systém by měl mít možnost komunikace s nadřazeným systémem na bázi PC, který bude řešit algoritmy regulace.

Body zadání:

1. Studium senzorů vlhkosti, teploty, intenzity osvětlení, možnosti jejich komunikace.
2. Realizace komunikace senzorů s mikropočítačovým systémem ARDUINO.
3. Komunikace systému ARDUINO s nadřazeným systémem.
4. Regulace LED osvětlení skleníku pomocí PWM.
5. Ventilace vzduchu.
6. Realizace systému a jeho odzkoušení.
7. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin, díl 1. ISBN 80-7300-145-4.
- [2] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005 dotisk. ISBN 80-01-03123-3.
- [3] FEXA, Josef a Karel ŠIROKÝ. *Měření vlhkosti*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. Česká matice technická, č. spisu 416, roč. 87 (1982).
- [4] *Kurz osvětlovací techniky XXI: venkovní osvětlení, světelné znečištění, měření osvětlení*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, [2002].
- [5] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustrovala VLACHOVÁ Viktorie. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [6] SELECKÝ, Matuš. *Arduino: uživatelská příručka*. Přeložil Martin HERODEK. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4840-2.
- [7] GERTZ, Emily a Patrick DI JUSTO. *Environmental monitoring with Arduino*. Sebastopol: O'Reilly, 2012. ISBN 978-1-449-31056-1.
- [8] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-110-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Richard Velička, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry

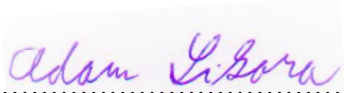


  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Místopřísežné prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 15. května 2020



Podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucím bakalářské práce panu Ing. Richardu Veličkovi, Ph.D. a panu doc. Ing. Ludvíkovi Kovalovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Práce je zaměřena na problematiku novodobého druhu pěstování rostlin v aeroponickém skleníku. Cílem práce je automatizovat celý proces pěstování, aby bylo zapotřebí co nejmenšího zásahu člověka do tohoto procesu. Práce bude obsahovat popis regulací jednotlivých veličin (teplotu, vlhkost vzduchu, intenzitu osvětlení) pro udržení potřebných podmínek ve skleníku. Požadované hodnoty těchto veličin budou snadno nastavitelné prostřednictvím počítačové aplikace LabVIEW. Dále bude zmíněn popis jednotlivých částí systému, potřebných k realizaci aeroponického skleníku. Část potřebná k ovlivnění fyzikálních veličin v regulovaném objektu a také senzorická část.

## **Klíčová slova**

Arduino, skleník, senzor vlhkosti, senzor teploty, senzor intenzity světla, regulace teploty, regulace vlhkosti, regulace světla

## **Abstract**

The work is focused on a realization of a modern method of growing plants in aeroponic greenhouse. The goal is to automatize most process of plants growing. To achieve minimum human factor needed for system functionality. The work will contain regulation of the system, specifically the regulation of temperature, humidity, light intensity, to maintain the necessary conditions in the greenhouse. Needed values will be easy to set up in computers application LabVIEW. In the next section, the individual parts of the system needed for realization of aeroponic system will be mentioned. One part is needed to affect physical quantity in the regulated object and the other one is a sensory part.

## **Keywords**

Arduino, greenhouse, humidity sensor, temperature sensor, light intensity sensor, temperature control, humidity control, light control

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	1
Seznam tabulek .....	2
Seznam ilustrací.....	3
Úvod .....	4
Aeroponický skleník .....	4
Hydroponie .....	4
Aeroponie.....	4
Popis automatizace skleníku .....	4
1 Studium senzorů vlhkosti, teploty a intenzity osvětlení .....	5
1.1 Senzory vlhkosti.....	5
Základní typy snímačů vlhkosti.....	5
1.1.1 Dilatační snímače vlhkosti .....	5
1.1.2 Gravimetrické snímače vlhkosti .....	5
1.1.3 Odporové snímače vlhkosti .....	5
1.1.4 Kapacitní snímače vlhkosti .....	6
1.2 Senzory intenzity světla.....	6
Základní typy snímačů světla.....	6
1.2.1 Fototranzistory .....	6
1.2.2 Fotodiody .....	6
1.2.3 Fotorezistory .....	7
1.3 Senzory teploty .....	7
Základní typy snímačů teploty .....	7
1.3.1 Odporové.....	7
1.3.2 Termoelektrické .....	8
1.3.3 Infrateploměry .....	8
2 Komunikace MCU Arduino s ostatními periferiemi systému .....	9
2.1 Komunikace Arduina s nadřazeným PC systémem pomocí UART .....	9
2.2 Komunikace RTC čipu – I2C .....	10
2.3 Komunikace senzoru vlhkosti DHT – sériové rozhraní (Single-Wire Two-Way) .....	11
2.4 Měření intenzity osvětlení s fotorezistorem .....	12
3 Popis zařízení.....	13
3.1 Vstupní zařízení .....	14
DHT 11 senzor .....	14

Senzor intenzity osvětlení .....	14
Modul RTC .....	14
3.2 Vyhodnocovací zařízení .....	15
Arduino nano .....	15
3.3 Zesilovací zařízení .....	16
3.3.1 Návrh desky plošných spojů .....	16
Relé .....	20
3.4 Výstupní zařízení .....	20
Čerpadlo .....	20
Ohřívač .....	20
Ventilátor .....	21
Led čip .....	21
4 Popis aplikace v LabVIEW .....	22
Popis funkce aplikačního programu .....	24
5 Realizace a naměřené výsledky .....	25
5.1 Zavlažovací systém .....	25
5.2 Regulace LED osvětlení pomocí PWM .....	26
5.2.1 PWM (Pulzně-šířková modulace) .....	27
Popis naměřených průběhů regulací v grafu 1 .....	29
5.3 Regulace vlhkosti .....	30
Snižování vlhkosti .....	30
Popis naměřených průběhů regulací v grafu 2 .....	33
Popis naměřených průběhů regulací v grafu 3 .....	33
Zvyšování vlhkosti .....	34
Popis naměřených průběhů regulací v grafu 4 .....	37
Popis naměřených průběhů regulací v grafu 5 .....	37
5.4 Regulace Teploty .....	38
Popis naměřených průběhů regulací v grafu 6 .....	40
6 Zhodnocení výsledků .....	41
Závěr .....	42
Seznam použité literatury .....	44
Seznam příloh .....	46

## Seznam použitých symbolů a zkratek

I	Elektrický proud	(A)
P	Elektrický výkon	(W)
R	Elektrický odpor	( $\Omega$ )
RH	Relative humidity	(%)
T	Teplota	(°C)
t	Čas	(s)
U	Elektrické napětí	(V)
A/D	Analog/Digital	
AC	Alternating current	
CFM	cubic foot per minute	
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor	
CPU	Central processing unit	
DC	Direct current	
d	Poruchová veličina	
I2C	Inter-Integrated Circuit	
LSB	Least significant bit	
MCU	Microcontroller unit	
MSB	Most Significant Bit	
m <sup>3</sup> /min	Metry krychlové za minutu	
NTC	Negastor	
PC	Personal computer	
PID	Proporcionálně-integračně-derivační	
PN	Polovodiče typu P a N	
ppm	parts per million	
PT100	Kovový snímač teploty	
PTC	Pozistor	
PWM	Pulse Width Modulation	



RTC	Real Time Clock
RX	Receiver
SCL	Synchronous Clock
SDA	Synchronous Data
TX	Transmitter
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
u	Řídicí veličina
w	Požadovaná hodnota
y	Regulovaná veličina

## Seznam tabulek

<i>Tab. 3.1 – Parametry senzoru DHT 11 [13]</i> .....	14
<i>Tab. 3.2 – Parametry fotorezistoru: LDR5549 [17]</i> .....	14
<i>Tab. 3.3 – Srovnání přesnosti hodnot krystalu [19]</i> .....	14
<i>Tab. 3.4 – Parametry mikrokontroleru Arduino [22]</i> .....	15
<i>Tab. 3.5 – Parametry relé [24]</i> .....	20
<i>Tab. 3.6 – Parametry čerpadla [25]</i> .....	20
<i>Tab. 3.7 – Parametry ohřívače [26]</i> .....	20
<i>Tab. 3.8 – Parametry ventilátoru [27]</i> .....	21
<i>Tab. 3.9 – Parametry led čipu [28]</i> .....	21
<i>Tab. 5.1 – Hodnoty funkce analogWrite na výstupu [29]</i> .....	27

## Seznam ilustrací

<i>Obr. 1.1 – Schéma fotovoltaiický režim [5]</i> .....	6
<i>Obr. 1.2 – Schéma fotovodivostní režim [5]</i> .....	6
<i>Obr. 1.3 – Fotorezistor [6]: a) Reálná struktura, b) Zjednodušená struktura, c) Voltampérová charakteristika</i> .....	7
<i>Obr. 1.4 – NTC [8]</i> .....	8
<i>Obr. 1.5 – Závislost elektrického odporu na teplotě NTC [9]</i> .....	8
<i>Obr. 1.6 – PTC [10]</i> .....	8
<i>Obr. 1.7 – Závislost elektrického odporu na teplotě PTC [9]</i> .....	8
<i>Obr. 2.1 – Blokové schéma komunikace</i> .....	9
<i>Obr. 2.2 – Schéma zapojení komunikace UART Arduina a PC</i> .....	9
<i>Obr. 2.3 – Schéma zapojení komunikace I2C Arduina a RTC</i> .....	10
<i>Obr. 2.4 – Přenos dat rozhraním I2C [12]</i> .....	10
<i>Obr. 2.5 – Schéma zapojení Arduina a DHT11</i> .....	11
<i>Obr. 2.6 – Přenos dat rozhraním Single-Wire Two-Way [14]</i> .....	11
<i>Obr. 2.7 – Schéma zapojení Arduina a fotorezistoru</i> .....	12
<i>Obr. 3.1 – Napájení systému</i> .....	13
<i>Obr. 3.2 – Jednotlivá zařízení systému</i> .....	13
<i>Obr. 3.3 – Senzor DHT11 [13]</i> .....	14
<i>Obr. 3.4 – Fotorezistor [17]</i> .....	14
<i>Obr. 3.5 – RTC DS3231SN [18]</i> .....	14
<i>Obr. 3.6 – Arduino Nano [23]</i> .....	15
<i>Obr. 3.7 – Návrh logické části schéma</i> .....	17
<i>Obr. 3.8 – Návrh logické části DPS</i> .....	18
<i>Obr. 3.9 – Návrh silové části schéma</i> .....	19
<i>Obr. 3.10 – Návrh silové části DPS</i> .....	19
<i>Obr. 3.11 – Relé [24]</i> .....	20
<i>Obr. 3.12 – Čerpadlo [25]</i> .....	20
<i>Obr. 3.13 – Ohřívač [26]</i> .....	20
<i>Obr. 3.14 – Ventilátor [27]</i> .....	21
<i>Obr. 3.15 – Led čip [28]</i> .....	21
<i>Obr. 4.1 – Náhled aplikace</i> .....	22
<i>Obr. 4.2 – Náhled importovaných dat</i> .....	22
<i>Obr. 4.3 – Popis funkce aplikačního programu</i> .....	23
<i>Obr. 5.1 – Diagram řízení zavlažování</i> .....	25
<i>Obr. 5.2 – Regulační smyčka intenzity osvětlení</i> .....	26
<i>Obr. 5.3 – PWM Arduino [29]</i> .....	27
<i>Obr. 5.4 – Regulace vlhkosti</i> .....	30
<i>Obr. 5.5 – Regulační smyčka snižování vlhkosti</i> .....	30
<i>Obr. 5.6 – Regulační smyčka zvyšování vlhkosti</i> .....	34
<i>Obr. 5.7 – Regulační smyčka teploty</i> .....	38

# Úvod

## Aeroponický skleník

Odlišnost běžného skleníku od aeroponického spočívá hlavně v médiu, ve kterém je uložen kořenový systém rostliny. V běžném skleníku jsou kořeny rostliny uloženy v hlíně, kdežto u aeroponických systémů kořeny rostlin visí volně ve vzduchu a živiny jsou rostlinám dodávány ostřikem kořenů.

## Hydroponie

Předchůdcem aeroponie můžeme označit hydroponii, u tohoto systému jsou rostliny ponořené v živném roztoku. Nejpodstatnější je udržovat správnou hodnotu pH, tedy kyselost roztoku a EC vodivosti roztoku. Velká většina rostlin pěstována v půdě může být pěstována i v hydroponii.

Výhody: Rostliny získávají dostatek všech potřebných látek, rostou tedy rychleji a obsahují větší množství zdravích prospěšných látek. Spotřeba vody je mnohem menší než u pěstování v půdě. V těchto systémech se nenacházejí půdní škůdci jako u klasického pěstování.

Nevýhody: Údržba a tvorba systému. Živný roztok je zapotřebí provzdušňovat.

## Aeroponie

Aeroponické systémy jsou nejmodernější a nejefektivnější ze všech tří metod. Kořeny rostlin visící ve vzduchu jsou postřikovány živným roztokem z nádrže. Systém je využíván dokonce i ve vesmíru, a to díky nízké spotřebě vody a efektivitě.

Výhody: Jsou stejné jako u hydroponie, ale navíc mají kořeny rostlin větší přístup ke kyslíku, tedy rostou ještě rychleji a spotřeba vody je mnohonásobně menší než u hydroponie.

Nevýhody: Vytvoření systému a údržba.

## Popis automatizace skleníku

Řídicím členem celého skleníku je mikrokontroler Arduino, který bude prostřednictvím snímačů získávat informace o stavu vlhkosti vzduchu, teploty a intenzity světla ve skleníku. Na základě těchto údajů vyhodnocuje a řídí akční členy regulované soustavy. Akčními členy v tomto případě budou:

- Čerpadlo pro zavlažování kořenů rostlin.
- Čerpadlo pro zvyšování vlhkosti vzduchu ve skleníku.
- LED čipy pro udržení ideálních světelných podmínek.
- Ventilátory pro odvětrávání vlhkého vzduchu.
- Ohřívač pro navýšování teploty ve skleníku.

Výstupní signál z Arduina je 5 voltů. Napájecí napětí akčních členů je 12 V= nebo 230 V~ a jsou navíc výkonově náročné, proto je nutné výstup z Arduina zesílit jak napěťově, tak proudově, pro 12 V bude potřeba navrhnout zesilovač. Operační zesilovače nám zesílí napětí a MOSFET tranzistory proud. V případě střídavého napětí 230 V použijeme jako zesilovací prvek relé.

Měřicí členy systému budou:

- Fotorezistor, snímač intenzity osvětlení.
- Kapacitní snímač vlhkosti DHT11.
- NTC termistor tepelný snímač, který je součástí snímače DHT11.

# 1 Studium senzorů vlhkosti, teploty a intenzity osvětlení

## 1.1 Sensory vlhkosti

Princip měření vlhkosti vzduchu spočívá ve schopnosti senzoru převést poměr suchého vzduchu a vodní páry obsažené v ovzduší na veličinu, kterou dále zpracováváme.

Nejčastěji používanou metodou měření vlhkosti vzduchu je hygrometrická metoda. Tato metoda pracuje na principu schopnosti určitých látek měnit své vlastnosti v závislosti na okolní vlhkosti. Může se měnit například elektrický odpor či kapacita senzoru. Relativní vlhkost a měřená veličina jsou na sobě často lineárně závislé. [1, 2]

### Základní typy snímačů vlhkosti.

#### 1.1.1 Dilatační snímače vlhkosti

Funkce senzoru je založena na schopnosti lidského vlasu měnit svou velikost v závislosti na okolní vlhkosti vzduchu. Vlas je přichycený jedním koncem na pevnou část a druhým na pákový mechanismus způsobující výchylku ručičky. U této metody je závislost délky vlasu a relativní vlhkosti nelineární, proto musíme hodnotu výchylky linearizovat, či použít nelineární stupnici. [1, 2]

Nevýhody: nutnost linearizace měření, výstupní signál je dále těžce zpracovatelný, složitá údržba a kalibrace.

#### 1.1.2 Gravimetrické snímače vlhkosti

Pracují na principu změny hmotnosti látky absorbující vlhkost ze známého objemu vzduchu. Odečítá se hodnota látky suché od látky nasáklé okolní parou. Tento pokles či nárůst hmotnosti a relativní vlhkosti jsou na sobě lineárně závislé. Používají se pouze zřídka, a to především v laboratořích pro kalibraci jiných vlhkoměrů. [1, 2]

Výhody: velice přesný

Nevýhody: složitá a zdlouhavá metoda měření, vysoká cena senzoru

#### 1.1.3 Odporové snímače vlhkosti

Odporový vlhkoměr mění elektrický odpor sorpčního materiálu na základě obsahu vody, kterou z okolního prostředí nasaje. Je nutné měření provádět střídavým napětím, aby nedošlo k polarizaci elektrod. [1, 2]

Nevýhody: Snímač nelze použít při vysokých teplotách, změna vodivosti materiálu nepokrývá celkový rozsah relativní vlhkosti (0 - 100 %), většinou pokrývá třetinu až pětinu tohoto rozsahu.

Výhody: ve svých omezených mezích je čidlo stabilní a přesné, chyba představuje desetiny procent RH.

### 1.1.4 Kapacitní snímače vlhkosti

U kapacitních snímačů se měří vlhkost vzduchu podobně jako u odporových. Rozdíl spočívá v sorpčním materiálu. U kapacitních snímačů je sorpčním materiálem dielektrikum kondenzátoru. Jedna z desek kondenzátoru je perforovaná, aby dielektrikum přišlo do přímého kontaktu s okolním prostředím. Při změnách vlhkosti dielektrika se mění kapacita kondenzátoru. [1, 2]

Výhody: Senzory nejsou výrazně závislé na teplotě, jsou odolné vůči kondenzaci, odezva je v řádech desítek sekund, mají malé rozměry a nízkou pořizovací cenu, některé ze senzorů obsahují integrovaný obvod, který převede kapacitu na napětí, či dokonce na digitální rozhraní.

Nevýhody: Přesnost senzorů se pohybuje v jednotkách procent RH.

## 1.2 Senzory intenzity světla

Snímače intenzity světla využívají vnitřního fotoelektrického jevu, který popisuje přeměnu světla na elektrickou energii. Elektrony vázané na atomy se prostřednictvím světelného záření uvolní a stávají se tak volnými nosiči elektrického náboje. Senzory snímající intenzitu světla jsou odhalené polovodiče. Jestliže mají fotony dopadající na polovodič dostatečně velkou energii, elektron překoná vazebné síly a stane se volným elektronem. To má za následek snížení elektrického odporu polovodiče. Nejčastějšími součástkami využívající tohoto jevu jsou fotorezistory, fotodiody, fototranzistory ... [3]

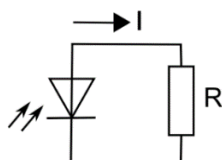
### Základní typy snímačů světla

#### 1.2.1 Fototranzistory

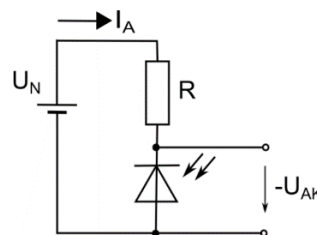
Funkce fototranzistoru se příliš neliší od klasického bipolárního tranzistoru. Rozdíl spočívá ve způsobu řízení kanálu kolektor-emitor. Obyčejný bipolární tranzistor je řízený bázevým proudem, kdežto fototranzistor je řízen intenzitou dopadajícího světla. Čím intenzivnější je světelné záření dopadající na bázi tranzistoru, tím víc je kanál kolektor-emitor otevřený a větší proud přes něj protéká. Fototranzistor se v kombinaci s Led diodou používá pro galvanické oddělení obvodu. [3, 4]

#### 1.2.2 Fotodiody

Dioda se skládá z jednoho PN přechodu, fotodiody na rozdíl od klasické diody má tento přechod PN odhalený, aby na ni mohlo dopadat světlo. Pokud začne na přechod PN dopadat světelné záření elektrony získají větší energii. Jakmile energie elektronu dosáhne takové velikosti, aby byl elektron schopen překonat zakázané pásmo, dostane se do vodivostního pásu a na původním místě vznikne díra. Vznikne tak pár elektron díra. Fotodiody může fungovat jako generátor proudu, viz Obr.1.1, nebo jako světelný snímač, viz Obr.1.2. [3, 4]



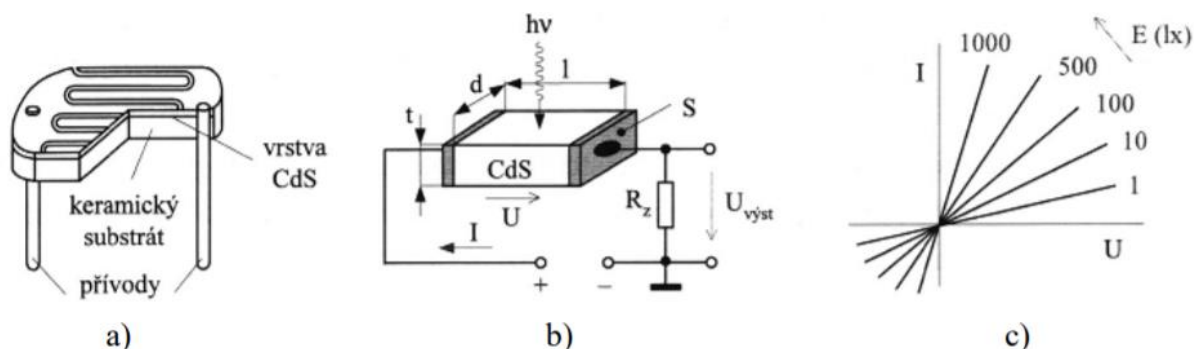
Obr. 1.1 – Schéma fotovoltaičké režim [5]



Obr. 1.2 – Schéma fotovodivostní režim [5]

### 1.2.3 Fotorezistory

Fotorezistor je polovodičová součástka, která mění svůj elektrický odpor v závislosti na intenzitě osvětlení. Polovodičová vrstva typu N z CdS (sulfid kadmennatý) zmenšuje svůj elektrický odpor s nárůstem intenzity dopadajícího světla. Na rozdíl od fotodiody a fototranzistoru, kde se ovlivňuje vyprázdněná oblast mezi polovodiči typu P a N, u fotorezistoru se dopadajícím světlem ovlivňuje pouze polovodič typu N. Při dopadu světla na polovodič dojde k uvolnění volných elektronů, které pouze způsobí snížení elektrického odporu, tedy umožní, aby součástkou protékal vyšší proud. [3, 4]



Obr. 1.3 – Fotorezistor [6]: a) Reálná struktura, b) Zjednodušená struktura, c) Voltampérová charakteristika

## 1.3 Senzory teploty

### Základní typy snímačů teploty

#### 1.3.1 Odporové

Odporové snímače teploty využívají schopností kovů a polovodičů, měnit svůj elektrický odpor při teplotní změně. Změnou teploty dochází k ovlivnění kmitání atomů prvku v krystalové mřížce, která má za následek změnu úbytku napětí na snímači. Mezi kovové snímače patří např. PT100 a mezi polovodičové zařazujeme termistory PTC nebo NTC. [7]

##### a) PT100

U těchto snímačů s rostoucí teplotou lineárně stoupá elektrický odpor. Při teplotě 0 °C je obvykle elektrický odpor snímače 100 Ω. Jejich rozsah bývá od –200 °C až do +800 °C. Měrným elementem odporových teploměrů bývá tenký drátek (platina nebo měď). Měrný odpor je chráněn před okolními vlivy ochrannou armaturou. Spojení odporového snímače a měřicího přístroje je nejčastěji dvou vodičové, v některých případech bývá třívodičové. [7]

##### b) Termistory

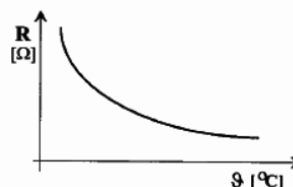
Na rozdíl od kovových snímačů, je u polovodičových závislost na teplotě nelineární. Mají velkou závislostí elektrického odporu na teplotě. Teplotní součinitel odporu je až 50x větší než u kovů.

Jsou zhotoveny například z  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MnO}$ . Polovodičový materiál je chráněn skleněným či plastovým obalem. Výhodou termistoru je jeho velikost až  $0,3 \text{ mm}^3$  a citlivost je až  $10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$ . [7]

Negastory (NTC): S rostoucí teplotou elektrický odpor klesá. Teplotní rozsah je od  $-200 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při zmenšení rozsahu se dá linearizovat a usnadnit tak zpracování dat. [7]



Obr. 1.4 – NTC [8]

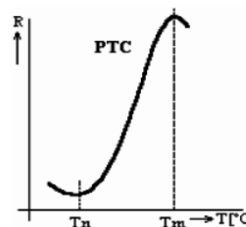


Obr. 1.5 – Závislost elektrického odporu na teplotě NTC [9]

Pozistory (PTC): S rostoucí teplotou roste i elektrický odpor senzoru. Teplotní rozsah je od  $-60$  do  $+180 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pozistory mají velkou citlivost na změnu teploty, ale jejich rozsah je velmi omezený.



Obr. 1.6 – PTC [10]



Obr. 1.7 – Závislost elektrického odporu na teplotě PTC [9]

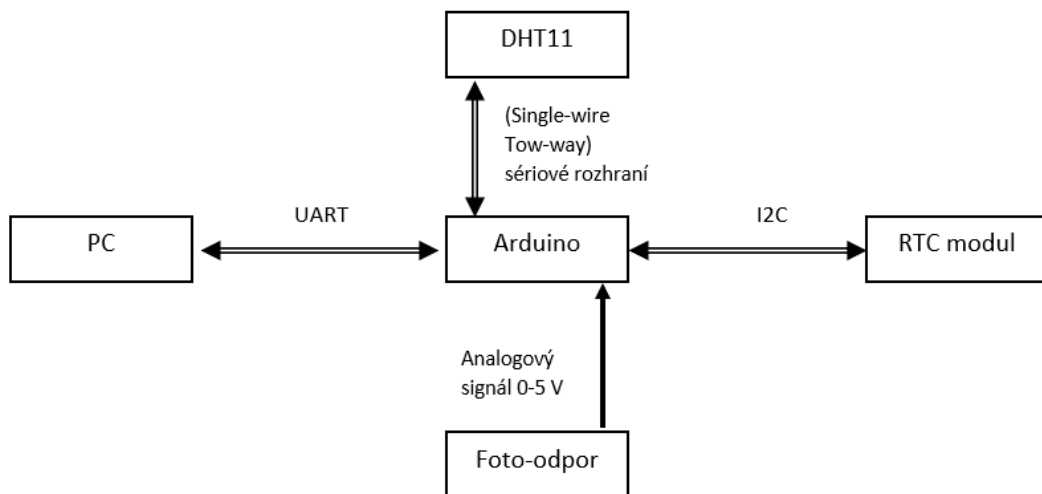
### 1.3.2 Termoelektrické

Spojením dvou vodičů odlišného materiálu je vytvořen termočlánek. Spojem těchto dvou kovů se provádí měření teploty. Výstupem snímače je napětí. Př.: Termočlánek typu T - ( $4,25 \text{ mV} / 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) s rozsahem od  $-200 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Měrné tělíčko termočláneku bývá uloženo v ochranné armatuře. Požadavky na dvojice kovů pro výrobu termočláneku jsou odolnost proti korozi a co největší výstupní termoelektrické napětí [7]

### 1.3.3 Infrateploměry

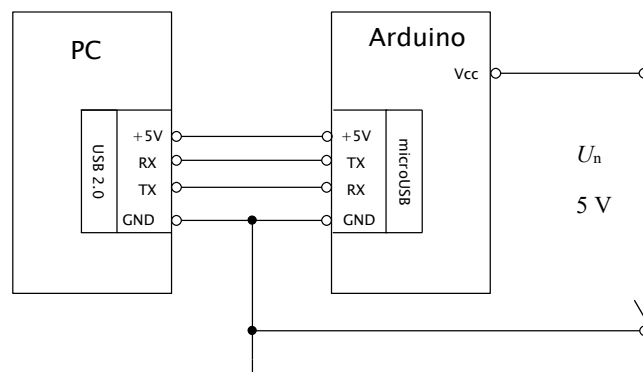
Infrateploměry jsou bezkontaktní teploměry pracující na principu infračerveného záření, tedy těleso o různé teplotě vyzařuje odlišné vlnové délky. Měřicí přístroj následně převede záření na digitální signál. Problémem při snímání infračerveného záření je, že povrchy odlišných barev vyzařují odlišné vlnové délky (mají různou emisivitu). Černé těleso má emisivitu 1, lesklá ocel 0,25, proto jsou přístroje vybaveny prvky pro korekci vlivů emisivity. [7]

## 2 Komunikace MCU Arduino s ostatními periferiemi systému



Obr. 2.1 – Blokové schéma komunikace

### 2.1 Komunikace Arduina s nadřazeným PC systémem pomocí UART



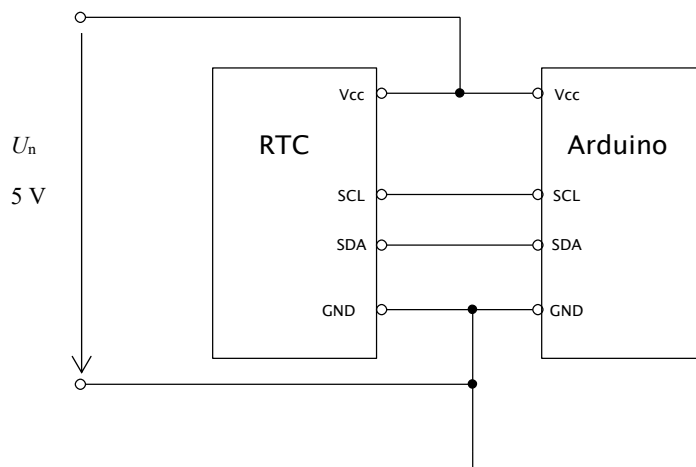
Obr. 2.2 – Schéma zapojení komunikace UART Arduina a PC

UART je obousměrná asynchronní komunikace. Obousměrná neboli „plně-duplexní“ což umožňuje zařízením přijímat i vysílat data ve stejném čase pomocí datových pinů TX a RX. Jako asynchronní se označují komunikace, u kterých mezi vysílačem a přijímačem neprobíhá synchronizace prostřednictvím hodinového signálu „CLOCK“. [11]

UART je možné použít u mikrokontroleru, počítače či jiných zařízení podporujících tento typ komunikace. Pro přenos se používá pole o 5 až 9 bitech. Jednotlivá pole jsou od sebe oddělena jedním start bitem a jedním či dvěma stop bity. Aby mohla komunikace mezi zařízeními fungovat, je nutné, aby měly obě nastavenou stejnou přenosovou rychlost. Přenosová rychlost u komunikace UART se pohybuje od 1200 b/s do 250 kb/s. [11]



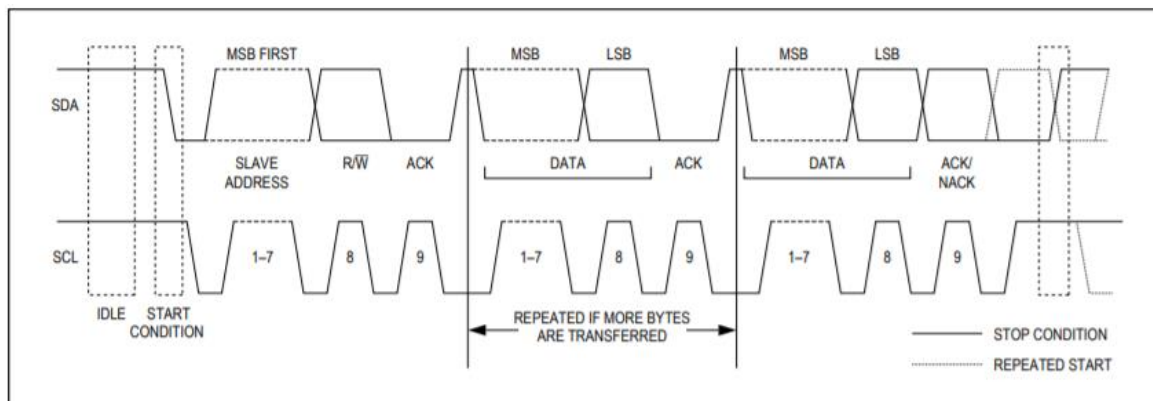
## 2.2 Komunikace RTC čipu – I2C



Obr. 2.3 – Schéma zapojení komunikace I2C Arduina a RTC

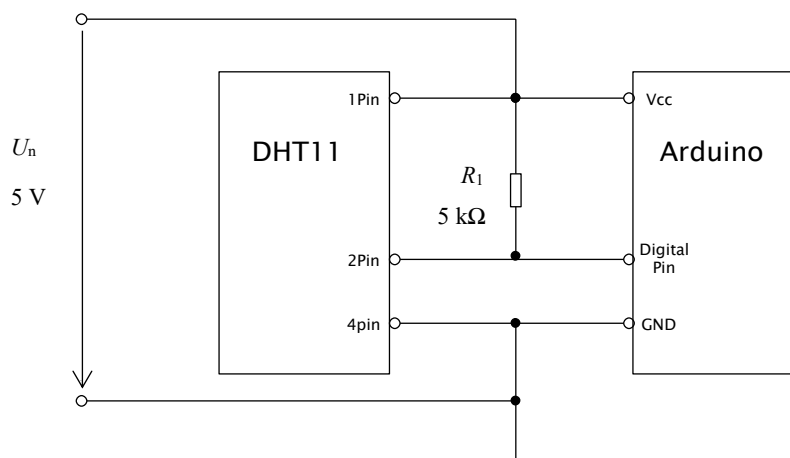
Komunikace mezi RTC a Arduinem je zprostředkována pomocí I2C protokolu. Tato datová sběrnice slouží pro přenos a komunikaci dat mezi jednotlivými integrovanými obvody. Přenos dat se provádí pouze prostřednictvím dvou vodičů: SDA – synchronizovaná data a SCL – hodinový (synchronizační) signál. Na jednu sběrnici se může připojit více integrovaných obvodů, v základní verzi je možno na sériové rozhraní připojit 128 zařízení. V praxi je toto číslo podstatně nižší, díky nedostatečné podpoře jednotlivých zařízení připojených k tomuto rozhraní. I2C podporuje 8bitové adresování, mnoho zařízení podporuje například jen adresování 3bitové. Některá mají dokonce neměnitelnou adresu. [12]

Komunikace probíhá mezi „master“ zařízení, které řídí komunikaci a „slave“ zařízení, které se řídí příkazy „master“ zařízení. Pokud „master“ vysílá, přijímají všechny „slave“ zařízení. O tom, jestli je zpráva určena právě konkrétním zařízením „slave“, rozhoduje adresa. Všechna zařízení musí mít odlišnou adresu. I když sběrnice podporuje „multi-master“, v tomto systému je pouze jeden master, a tím je Arduino. „Slave“ je tedy RTC čip. Arduino vysílá hodinový signál SCL, pomocí kterého se komunikace mezi čipy synchronizuje. RTC čip přečte příchozí data, pokud je adresa v příchozích datech určena jemu, data zpracuje. Jestliže je adresa odlišná, čip ji ignoruje. Příklad zapojení „single-master“, „single-slave“, viz Obr. 2.3. [12]



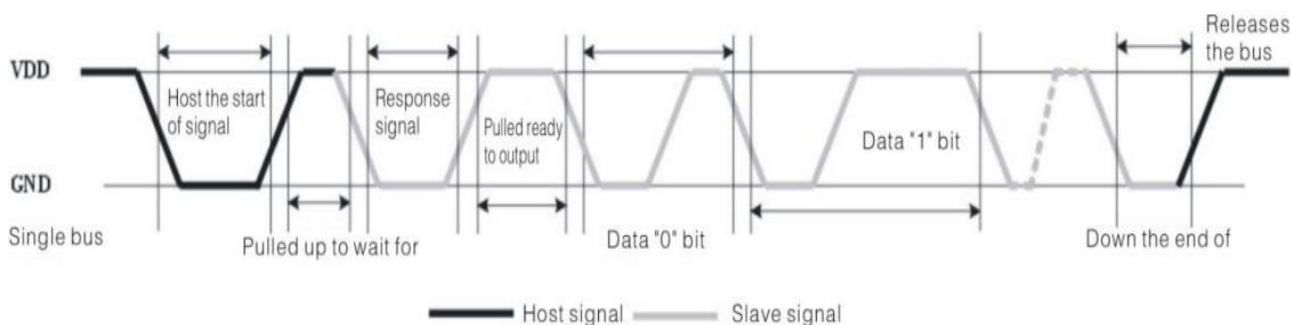
Obr. 2.4 – Přenos dat rozhraním I2C [12]

## 2.3 Komunikace senzoru vlhkosti DHT – sériové rozhraní (Single-Wire Two-Way)



Obr. 2.5 – Schéma zapojení Arduina a DHT11

Senzor DHT 11 má datový (pin2), který je určen pro synchronizaci a komunikaci senzoru s MCU Arduino. Data jsou posílána „MSB-first“, tedy bit s nejvyšší hodnotou se sériovou linkou posílá jako první a bit s nejnižší hodnotou odesílá senzor jako poslední. Kompletní datový přenos obsahuje 40 bitů. Těchto 40 bitů je rozděleno na 5 částí (5 bajtů). Pokud se poslední bajt nerovná součtu čtyř předešlých MCU zaznamená chybu a s příchozími daty nepracuje. Pokud se naopak hodnoty rovnají, MCU příchozí hodnoty vlhkosti a teploty vzduchu zpracuje. [13]



Obr. 2.6 – Přenos dat rozhraním Single-Wire Two-Way [14]

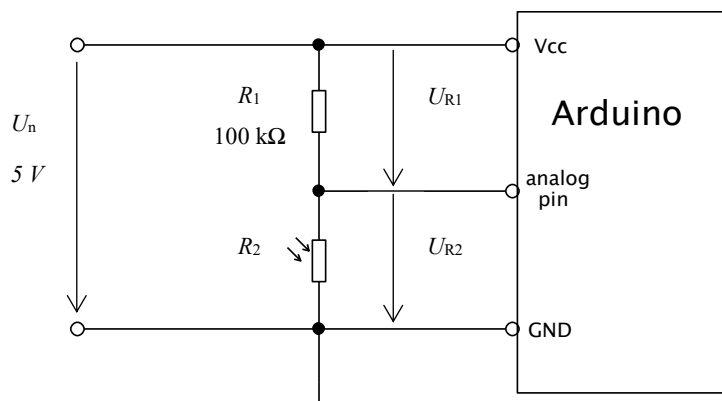
Na začátku drží pull-up rezistor na datovém pinu hodnotu +5 V. Pokud Arduino vyžaduje data po DHT senzoru, musí datový pin uzemnit (0 V) „Host the start of signal“. Hodnotu 0 V na datovém pinu musí držet nejméně 18 ms. Následně jej uvolní, a tím se na datový pin přes pull-up rezistor opět vrátí hodnota +5 V „pulled up to wait for“.

Pokud senzor zaregistroval na „Host the start of signal“ uzemní datový pin na 80  $\mu$ s „Response signal“, po uplynutí tohoto času senzor uvolní pin, a tím se opět vrátí do hodnoty +5 V. Arduino tím dá najevo, aby se připravilo na vysílání dat „Pulled ready to output“ tento stav trvá 80  $\mu$ s.

Dalším krokem je zaslání dat. Každý bit dat začíná uzemněním datového pinu po dobu 50  $\mu$ s, následně senzor nastaví na datový pin hodnotu +5 V. Doba, po jakou je na datovém pinu hodnota +5 V

určuje, zdali je bit logická „0“ nebo „1“. Jestliže je hodnota +5 V na datovém pinu po dobu 26 - 28  $\mu\text{s}$ , bit je roven logické „0“, jestliže je doba trvání 70  $\mu\text{s}$  bit je roven logické „1“. [13]

## 2.4 Měření intenzity osvětlení s fotorezistorem

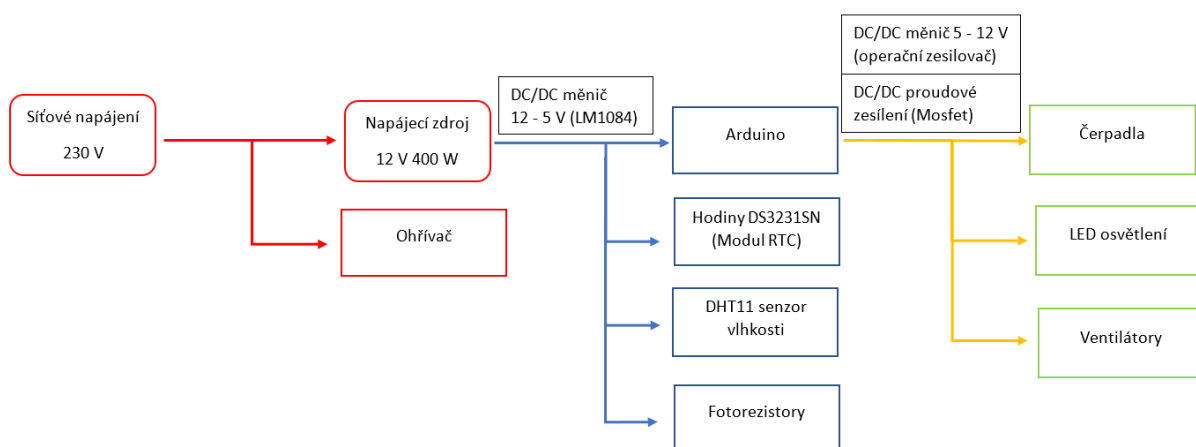


Obr. 2.7 – Schéma zapojení Arduina a fotorezistoru

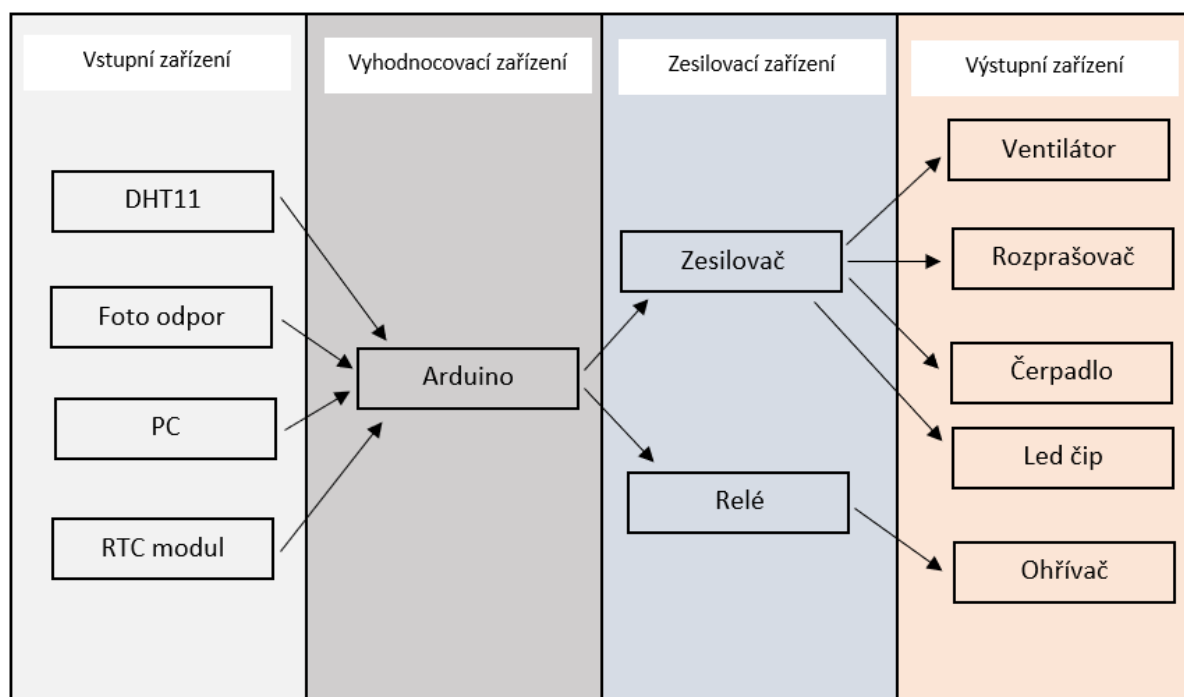
Pokud se intenzita světla zvýší na fotorezistoru  $R_2$  dojde ke zmenšení úbytku napětí  $U_{R2}$ . Na rezistoru  $R_1$  se naopak úbytek napětí  $U_{R1}$  zvýší. Arduino sleduje hodnotu úbytku napětí  $U_{R1}$  jedním ze svých analogových vstupů. Navyšováním intenzity světla dojde ke zvyšování hodnoty úbytku napětí  $U_{R1}$ . Změna hodnot  $U_{R1}$  je ale spojitá, pro tyto případy má Arduino integrovaný A/D převodník. [15]

Vzorkovací frekvence měřeného signálu je 10 kHz. A/D převodník je 10bitový, to znamená, že pokud měříme rozsah (0 - 5 V), kvantovací úroveň je rovna 0,00488 V. Naměřenou hodnotu nám mikrokontroler převede na číslo 0 až 1023. [16]

### 3 Popis zařízení



Obr. 3.1 – Napájení systému



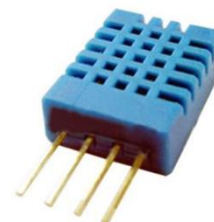
Obr. 3.2 – Jednotlivá zařízení systému

### 3.1 Vstupní zařízení

#### DHT 11 senzor

Tab. 3.1 – Parametry senzoru DHT 11 [13]

Napájecí napětí	3 - 5 V=
Komunikace	Single-bus
Vzorkovací perioda	1 s
Rozsah relativní vlhkosti	20 - 90 %
Chyba měření vlhkosti	± 5 %
Tepelný rozsah	0 - 50 °C



Obr. 3.3 – Senzor DHT11 [13]

Podrobnější informace v teoretické části: viz kapitoly 2.3, 1.1.4

#### Senzor intenzity osvětlení

Tab. 3.2 – Parametry fotorezistoru: LDR5549 [17]

Maximální napětí	150 V
Temná rezistence	10 MΩ
Resistance (10 Lux)	100 - 200 kΩ
Čas reakce při nárůstu intenzity	20 ms
Čas reakce při poklesu intenzity	30 ms



Obr. 3.4 – Fotorezistor [17]

Podrobnější informace v teoretické části: viz kapitoly 2.4, 1.2.3

#### Modul RTC

RTC neboli (Real-Time-Clock) jsou velice přesné hodiny. Této vysoké přesnosti, je dosaženo díky teplotně kompenzovanému krystalu. V teplotním rozsahu 0 - 40 °C je přesnost modulu 2 ppm. Tento údaj nám uvádí, že nepřesnost času za den se bude pohybovat kolem 0,2 sekundy. Roční výchylka oproti reálnému času bude přibližně 1,5 minuty. Srovnání hodnot ppm, viz Tab.3.3 [18]

Tab. 3.3 – Srovnání přesnosti hodnot krystalu [19]

ppm	Časová výchylka		
	s/den	min/měsíc	min/rok
5	0,4	0,2	3
25	2,16	1	13
100	9	4,32	52
300	26	13	150



Obr. 3.5 – RTC DS3231SN [18]

## 3.2 Vyhodnocovací zařízení

Arduino je jednodeskový počítač, který byl navržený pro lidi, kteří nemají zkušenosti s elektronikou. Je cenově dostupný, podporuje více platforem (Arduino software funguje na Windows, Mack OS X, i na Linux). Je jednoduše programovatelné. Arduino Hardware i Software jsou „open-sorse“ a je možno ho rozšířit o další komponenty například senzory. Arduino je velmi výkonné, navzdory své velikosti. Jeho výpočetní výkon je asi tak velký jako jeden z originálních navigačních počítačů z Apollo programu. Výhoda jejího výpočetního výkonu a jednoduchosti je dnes využívána lidmi po celém světě ke tvorbě inovativních zařízení.[20]

### Arduino nano

Arduino je postaveno na mikrokontroleru ATmega, navržený firmou Atmel. Arduino nano, obsahuje CPU ATmega328, to je založen na architektuře AVR RISC. Při jeho tvorbě byla použita technologie CMOS. Obsahuje 32 8bitových registrů.

Registry jsou přímo propojeny s aritmeticko-logickou jednotkou (ALU). Jednotka provádí úkony, jak aritmetické př. (sčítání (+), násobení ( $\times$ ), dělení ( $\div$ ), ...), tak logické (logický součet (OR), logický součin (AND), ...).

ATmega328 podporuje různé druhy sériové komunikace jako USART, SPI nebo I2C, pomocí kterých je schopno zasílat či přijímat data zvenčí. Například z počítače, či z nejrůznějších typů snímačů.

CPU ATmega328 disponuje osmi 10bitovými A/D převodníky. Jeho rozlišení pro napětí 0 - 5 V činí přibližně 4,88 mV. [21]

Tab. 3.4 – Parametry mikrokontroleru Arduino [22]

Mikrokontroler	ATmega328
Architektura	AVR RISC
Maximální proud na pin	40 mA
Operační Napětí	5 V
Paměť Flash	32 kB
Paměť Sram	2 kB
EEPROM	1 kB
Hodinová rychlost	16 MHz
Čas reakce při poklesu intenzity	30 ms
Počet Analogových pinů	8
Počet Digitálních pinů	22
Počet PWM pinů	6



Obr. 3.6 – Arduino Nano [23]

### 3.3 Zesilovací zařízení

#### 3.3.1 Návrh desky plošných spojů

Většinu akčních členů je napájena 12 V= (ventilátor, čerpadlo, LED osvětlení). Výstupní signál z Arduina, kterým ovládám celý systém je 5 V, proto hlavním úkolem součástek na DPS bylo změnit napětí z 5 V na 12 V. Napěťové zesílení jsem provedl pomocí operačního zesilovače TL074CN a proudové zesílení pomocí MOSFET tranzistorů. Celý obvod je rozdělen na dvě části a napájen ze zdroje 12 V.

V první části (Logické) jsou pouze malé proudy, proto jsem zvolil tloušťku cest 0,5 mm. V této části se nachází step-down LM1084IT z 12 V na 5 V dále samotný mikrokontroler, a nakonec dvě pouzdra operačních zesilovačů. Operační zesilovače jsem v obvodu použil pouze pro úsporu energie. Kdyby se napětí 5 V přímo z Arduina přivedlo na MOSFET tranzistory, nedošlo by k úplnému otevření tranzistorů a vznikaly by tak větší ztráty. Operační zesilovače pracují v obvodu jako komparátor.

V druhé (silové) části obvodu jsou velké proudy, proto je šířka cesty 2 mm. V silové části se nachází diody pro vybíjení indukčních zátěží a samotné MOSFET tranzistory pro proudové zesílení

Seznam Součástek:

MCU: Arduino NANO

Operační zesilovač: TL074CN

Tranzistory MOSFET: IRFZ44N

Lineární regulátor napětí: LM1084IT

Rezistory:  $R1 = R2 = 2 \text{ k}\Omega$

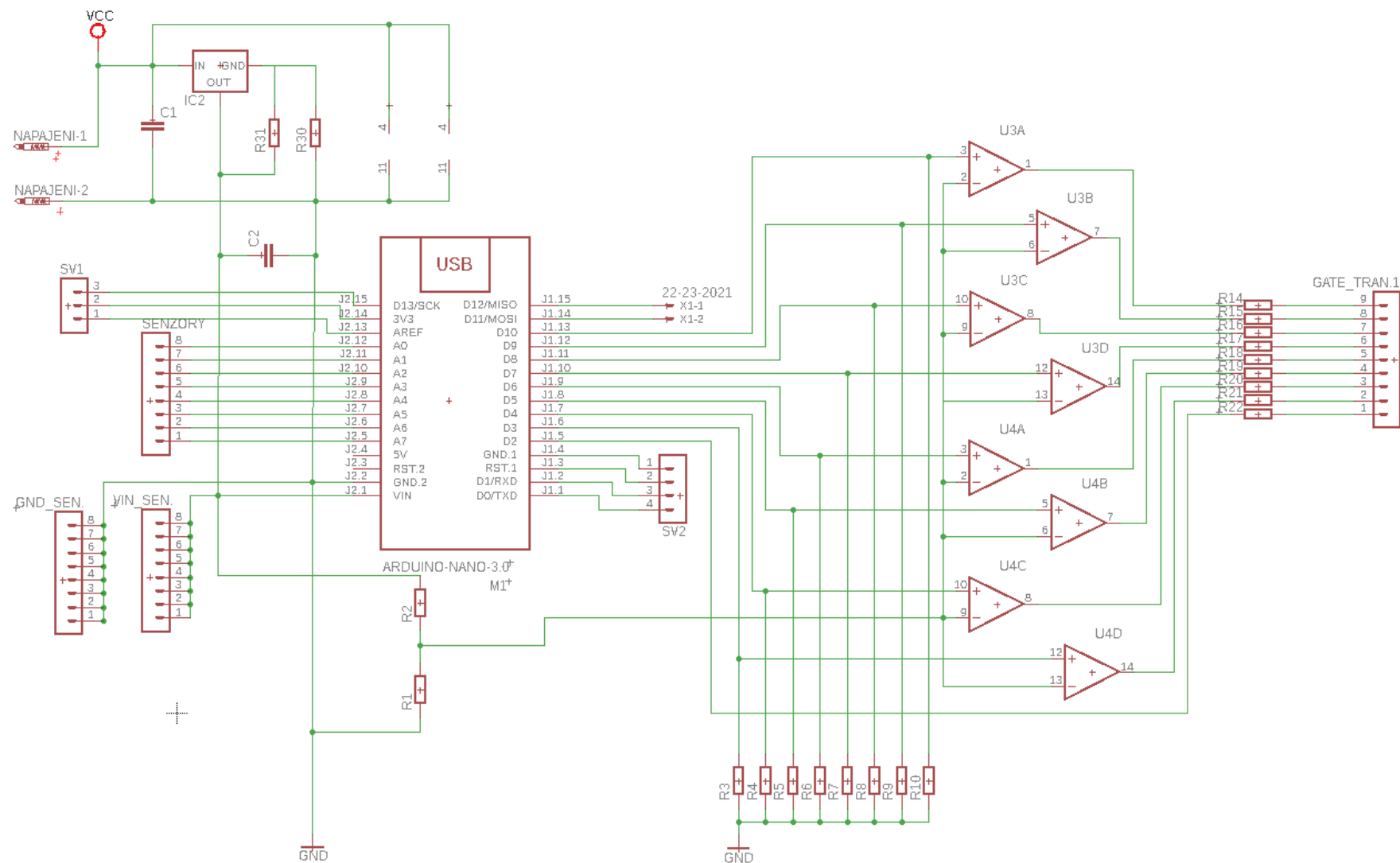
$R3 = R4 = \dots R10 = 100 \text{ k}\Omega$

$R14 = R15 = \dots R22 = 100 \text{ }\Omega$

$R30 = 56 \text{ }\Omega$ ,  $R31 = 120\Omega$

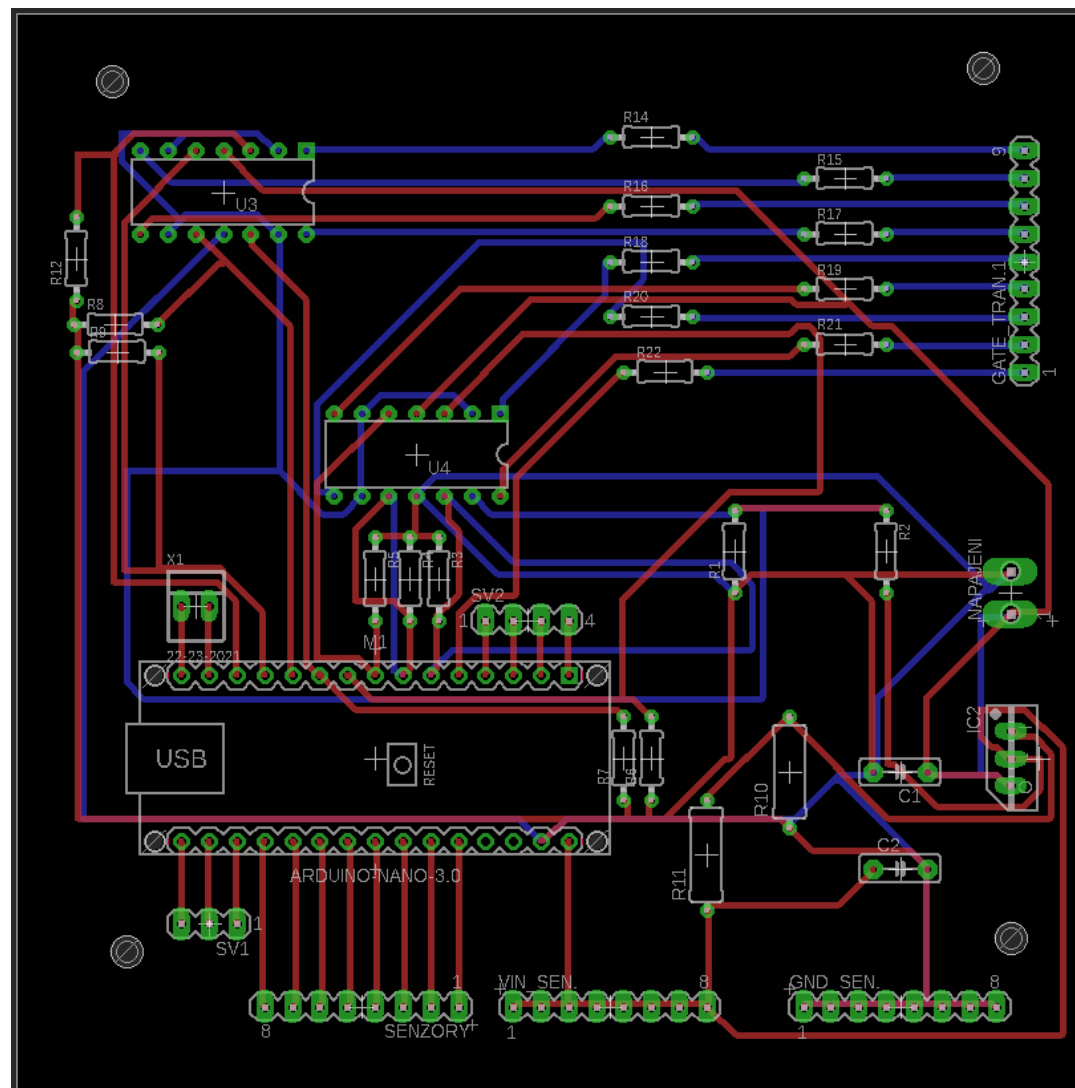
Kondenzátory:  $C1 = 10 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $C2 = 10 \text{ }\mu\text{F}$

Diody:  $D1 = D2 = \dots D9 = 1\text{N}4007$

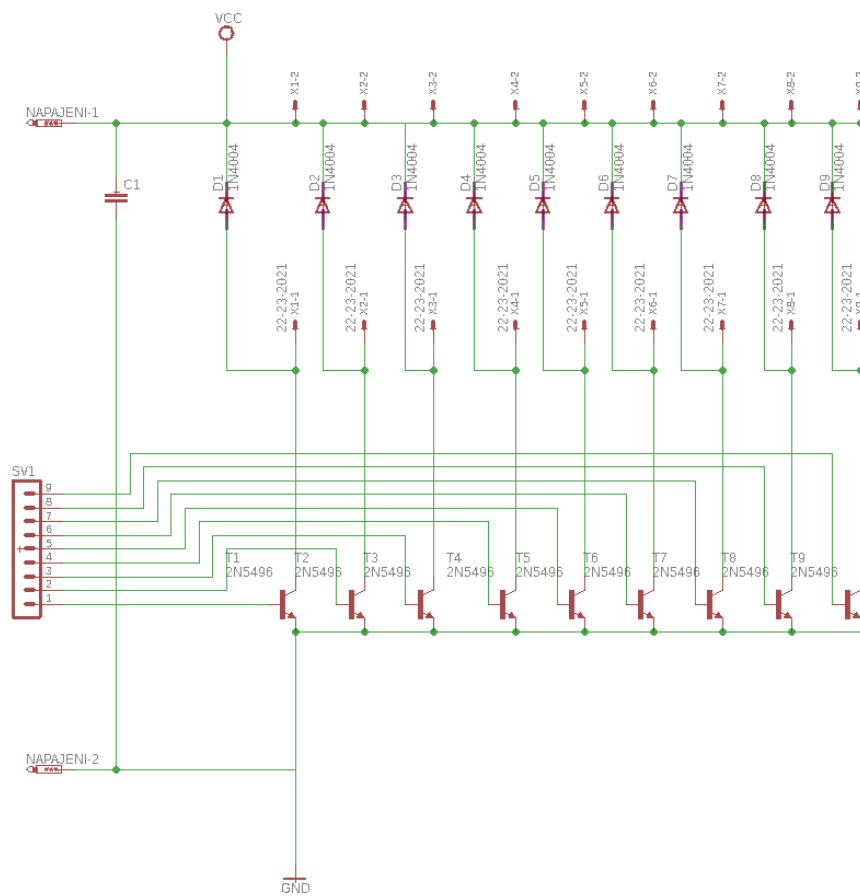


Obr. 3.7 – Návrh logické části schéma

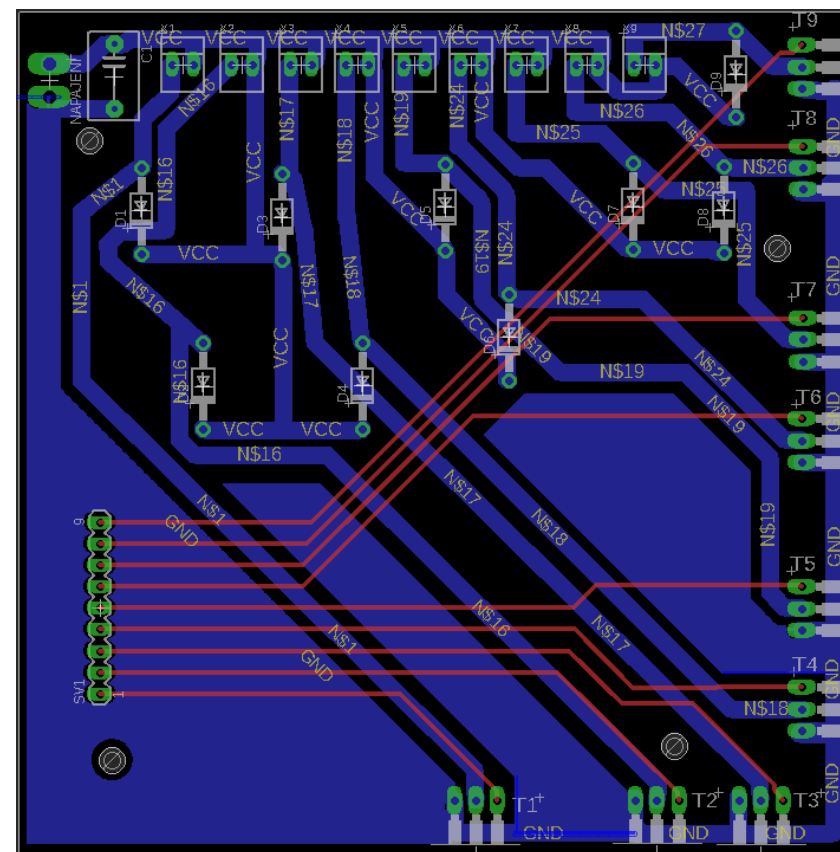




Obr. 3.8 – Návrh logické části DPS



Obr. 3.9 – Návrh silové části schéma



Obr. 3.10 – Návrh silové části DPS

## Relé

*Tab. 3.5 – Parametry relé [24]*

Spínací napětí	5 V=
Spínací proud	5 mA
Maximální spínané napětí	250 V~ / 30 V=
Výstupní proud	10 A



*Obr. 3.11 – Relé [24]*

### 3.4 Výstupní zařízení

## Čerpadlo

Čerpadla jsou v systému použity dvě, jedno pro zavlažování kořenů rostlin a druhé pro zvyšování vlhkosti ve skleníku.

*Tab. 3.6 – Parametry čerpadla [25]*

Napájecí napětí	9 - 14,4 V=
Proud	6 A
Příkon	72 W
Tlak	0,9 MPA



*Obr. 3.12 – Čerpadlo [25]*

## Ohříváč

*Tab. 3.7 – Parametry ohříváče [26]*

Napájecí napětí	230 V~
Výkon	2 kW



*Obr. 3.13 – Ohříváč [26]*

### Ventilátor

Ventilátory jsou použity dva, jeden pro přísun venkovního vzduchu a druhý pro odvětrávání vzduchu ze skleníku.

Tab. 3.8 – Parametry ventilátoru [27]

Napájecí napětí	12 V=	
Průtok vzduchu	72,8 CFM	2,06 m <sup>3</sup> /min

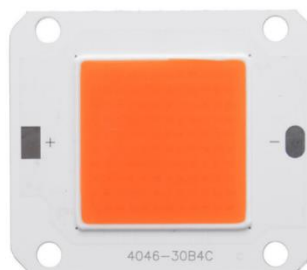


Obr. 3.14 – Ventilátor [27]

### Led čip

Tab. 3.9 – Parametry led čipu [28]

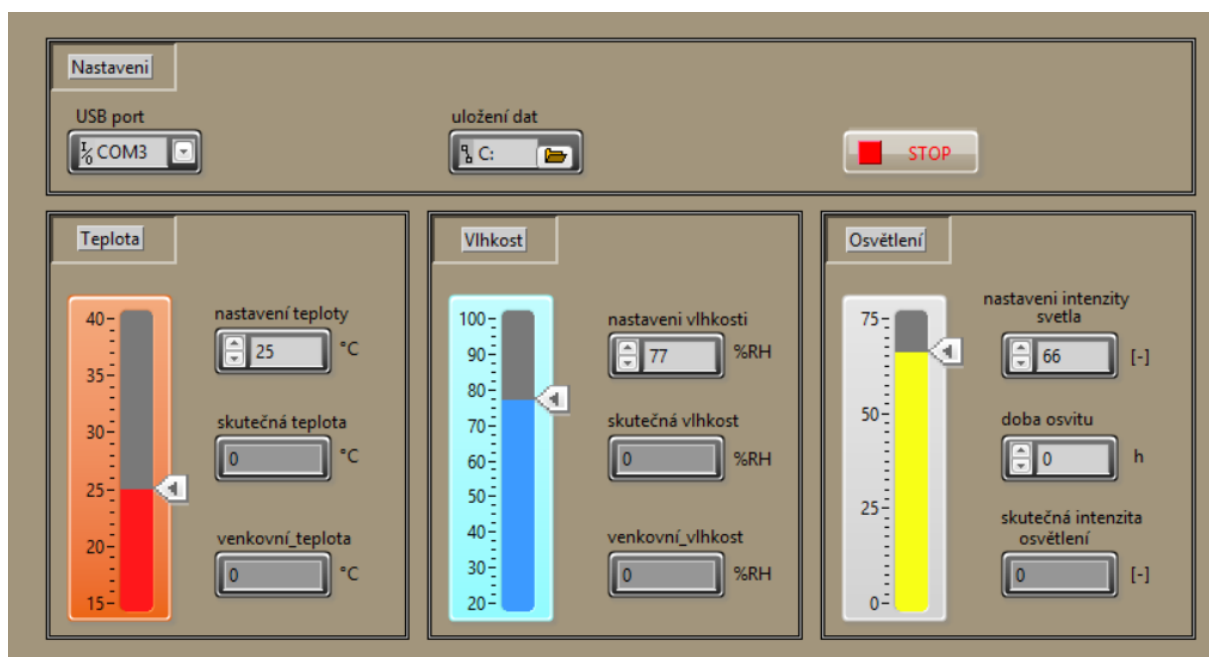
Napájecí napětí	12 - 14 V=
Příkon	50 W
Světelné spektrum	380 - 840 nm



Obr. 3.15 – Led čip [28]

## 4 Popis aplikace v LabVIEW

Počítačová aplikace je navržena v softwaru LabVIEW. Přes aplikaci je možné sledovat jednotlivé regulované veličiny a také veličiny vně systému. Je možné nastavit požadované hodnoty (teploty, vlhkosti, intenzity osvětlení a dobu osvitu). Kromě toho aplikace disponuje funkcí sběru naměřených dat. Naměřená data se ukládají do vytvořeného souboru, z těchto dat je možné sledovat chování regulací v dlouhodobém časovém intervalu.



Obr. 4.1 – Náhled aplikace

Aplikace je rozdělena do čtyř bloků. Před spuštěním aplikace musíme v prvním bloku „Nastavení“ nastavit na jaký USB port je Arduino připojeno a k tomu musíme vytvořit soubor, do kterého se budou naměřená data ukládat.

V bloku s označením „Teplota“ můžeme Arduino poslat informaci o požadované teplotě. V dalších dvou indikátorech, můžeme sledovat teplotu v soustavě a teplotu, která je mimo soustavu (teplotu v okolí soustavy).

Blok s označením „Vlhkost“ má podobnou funkci jako blok „Teplota“, pouze zde nastavujeme a sledujeme relativní vlhkost vzduchu.

Ve čtvrtém a posledním bloku „Osvětlení“ můžeme nastavit intenzitu světla a dobu, po kterou požadujeme, aby měly rostliny přísun světla. V dolním indikátoru můžeme sledovat aktuální intenzitu osvětlení.

w_teplota	u_teplota	y_teplota	venkovni_teplota	w_vlhkost	u_vlhkost	y_vlhkost	venkovni_vlhkost	w_svetlo	u_svetlo	y_svetlo
20	0	27	24	70	0	72	65	50	0	255
20	0	27	24	70	0	72	65	50	0	255
20	0	27	24	70	0	72	65	50	0	255
20	0	27	24	70	0	72	65	50	0	255
20	0	27	24	70	0	72	65	50	0	255

Obr. 4.2 – Náhled importovaných dat



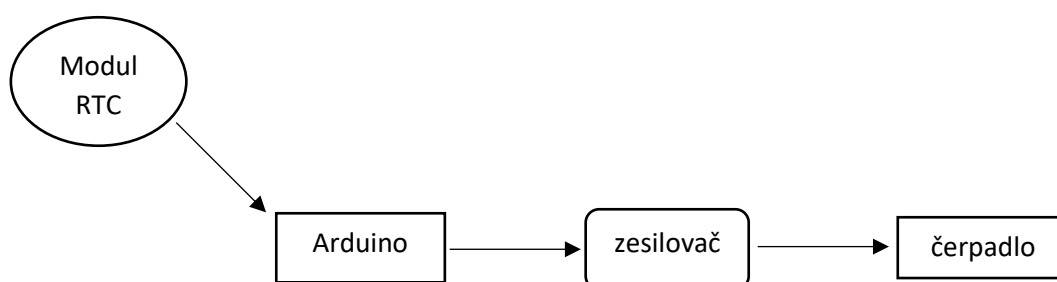
## Popis funkce aplikačního programu

1. Založení dokumentu pro sběr dat
2. Smyčka vepíše potřebné parametry do založeného dokumentu na první řádek (w\_teplota, u\_teplota, y\_teplota, w\_vlhkost, ...), viz Obr.4.2
3. Nastavení USB portu, na kterém je připojeno Arduino.
4. Nastavení přenosové rychlosti mezi počítačem a Arduinem.
5. Smyčka seskupí požadované hodnoty (nastavení teploty, vlhkosti, intenzity světla a doby osvitu), výstupem ze smyčky je pole bajtů. Pole obsahuje sedm bajtů z toho 3 jsou kontrolní.
6. Toto pole sedmi bajtů je následně posíláno přes UART do Arduina.
7. SubVI přijímá data z Arduina a vysílá požadované hodnoty do Arduina.
8. Ze SubVI „UART“ vychází pole dvanácti bajtů zasílané z Arduina do aplikace.
9. V komunikaci dochází k chybám, protože přijímač a vysílač neobsahuje „CLOCK“ signál. Toto SubVI nám synchronizuje komunikaci, aby nedocházelo ke zpracování nekorektních dat. Arduino zasílá celkem dvanáct bajtů, z toho 3 jsou kontrolní.
10. Po synchronizaci se těchto dvanáct bajtů přenesou do třídící smyčky
11. Třídící smyčka se sekundovým intervalem aktualizuje hodnoty v indikátorech na čelním panelu aplikace.
12. Hodnoty z třídící smyčky jsou následně vpisovány do dokumentu pro sběr dat.

## 5 Realizace a naměřené výsledky

### 5.1 Zavlažovací systém

Zavlažovací systém pracuje bez zpětné vazby. Regulovaná veličina, tedy není snímána a informace o její hodnotě se zpátky do mikrokontroleru nedostane. MCU Arduino zpracuje příchozí časový údaj z RTC čipu, a vyhodnotí, jestli je časový údaj shodný s údajem, kdy je zapotřebí spustit zavlažování. Pokud se údaje shodují Arduino sepne přes zesilovač čerpadlo. Pokud se údaje neshodují, Arduino vypne čerpadlo.



*Obr. 5.1 – Diagram řízení zavlažování*



## 5.2 Regulace LED osvětlení pomocí PWM

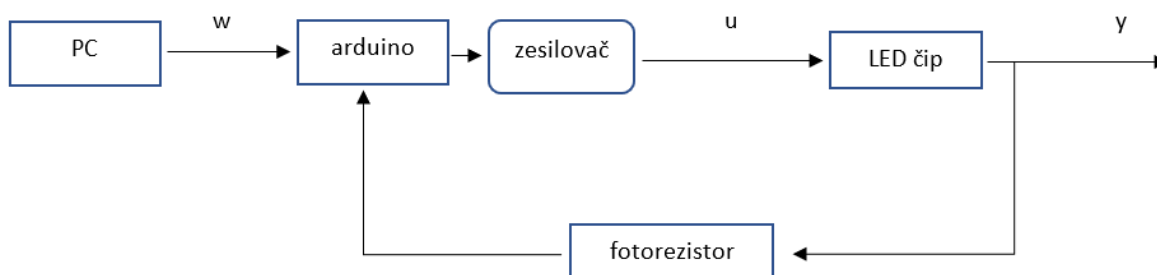
V aplikaci LabVIEW nastavujeme dvě hodnoty, se kterými Arduino pracuje. Dobu, po kterou si přejeme, aby měly rostliny příjem světla a intenzitu umělého dosvitu ( $w$ ), v případě, že je venkovní intenzita nedostačující.

Tyto hodnoty Arduino přijme přes UART. Nejprve zkontroluje, zdali je aktuální časový údaj v mezích navolených v aplikaci. Pokud v aplikaci navolíme, že rostliny mají mít přísun světla po dobu „ $x$  hodin“ Arduino je v intervalu ( $6$  až  $6 + x$ ) hodin v „pohotovostním“ režimu. V tomto režimu dochází ke kontrole úbytku napětí na fotorezistoru v minutových intervalech.

Arduino zpracuje hodnotu úbytku napětí z fotorezistoru ( $0 - 5$  V). A/D převodník signál převede na digitální hodnotu, viz kapitola 2.4. Mikrokontroler nasnímá 4 vzorky signálu s časovým odstupem 25ms z těchto čtyřech vzorků se vypočítá průměrná hodnota.

Tento průměr přivedeme do PID regulátoru v Arduino. Pro plynulý přechod světla, je použita, pouze integrační složka regulátoru. Výstupem z regulátoru je PWM pin generující pulzy o amplitudě 5 V. Po zesílení je na LED osvětlení PWM o amplitudě 12 V.

Při stmívání začne úbytek napětí na rezistoru klesat. Jestliže venkovní osvit poklesne pod požadovanou hodnotu, Arduino intenzitu světla na požadovanou hodnotu doreguluje.



Obr. 5.2 – Regulační smyčka intenzity osvětlení

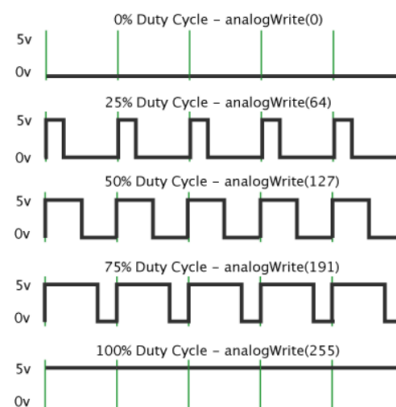
### 5.2.1 PWM (Pulzně-šířková modulace)

Generováním obdélníkových pulzů, a změnou jejich střídy jsme v podstatě schopni nahradit analogový signál. Pokud měníme rozsah 0 - 5 V a chceme dosáhnout například hodnoty 2,5 V, stačí, abychom generovali obdélníkový signál vysoké frekvence o velikosti 5 V se střídou 1:1. To znamená, že doba trvání logické 1 a logické 0 se rovnají. Tedy střední hodnota takového signálu je 2,5 V. [29]

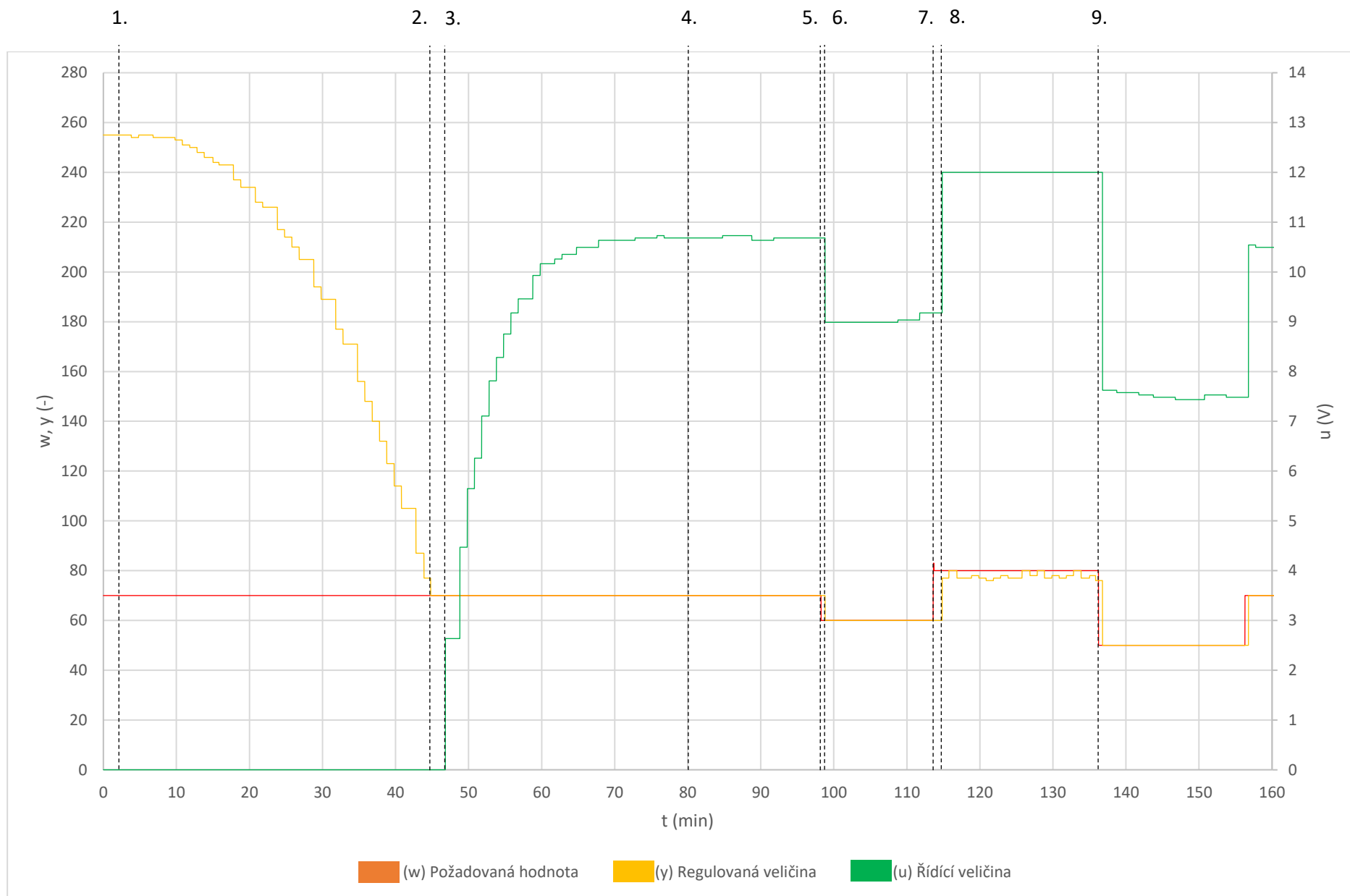
Arduino má devět pinů, které jsou schopny PWM signál generovat. MCU je schopno přivádět na výstup 0 - 5 V s napěťovým krokem (5/255), tedy 19,6 mV. Frekvence PWM signálu je 500 Hz. Pro tento způsob regulace, je v softwaru Arduino IDE speciální funkce nazývaná „analogWrite“. Hodnotu, s jakou měníme střídu uvádíme do závorky za ní, viz Obr.5.3 [29]

Tab. 5.1 – Hodnoty funkce analogWrite na výstupu [29]

Hodnota analogWrite(x) (-)	Výstupní hodnota (V)
0	0
64	1,25
127	2,5
191	3,75
255	5



Obr. 5.3 – PWM Arduino [29]



*Graf 1 – Naměřené hodnoty regulace světla*

Popis veličin:

- Požadovaná hodnota ( $w$ ) – požadovaná intenzita světla (-)
- Řídící veličina ( $u$ ) – napětí na LED čipu (V)
- Regulovaná veličina ( $y$ ) – naměřená intenzita osvětlení v soustavě (-)

Popis naměřených průběhů regulací v grafu 1

U regulace světla pro rostliny je podstatná vlnová délka světelného spektra od (400 - 700 nm). Fotorezistor má širší spektrum vlnových délek, na které reaguje. Fotorezistory ze sulfidu kadmnatého (CdS) reagují na vlnové délky (350 - 800 nm). Proto je nutné přizpůsobit hodnoty každému světelnému zdroji jinak. V měření je intenzita bezrozměrná veličina s hodnotou od 0 do 255. Hodnota 255 je maximální měřitelná intenzita světla, nulová hodnota naopak znamená minimální měřitelnou hodnotu.

Na počátku měření je požadovaná hodnota intenzity světla ( $w = 70$ ) a regulovaná veličina, tedy intenzita osvětlení ve skleníku je v maximu ( $y = 255$ ). Hodnota světla je vysoká, tedy není zapotřebí dosvěcovat. V bodě 1. začíná pokles intenzity světla, toto zaznamenáváme mezi body 1. a 2.

V bodě 3. došlo k tomu, že hodnota intenzity světla klesla pod požadovanou hodnotu ( $y < w$ ), proto došlo k rozsvícení světel navýšením napětí na LED čipu ( $u = 2,63\text{V}$ ), v tomto okamžiku se začínají požadovaná hodnota a regulovaná veličina rovnat ( $y = w$ ). Venkovní intenzita od tohoto okamžiku, není dostačující, a proto se regulátor snaží udržet rovnost mezi požadovanou a regulovanou hodnotou intenzity světla, prostřednictvím LED čipu.

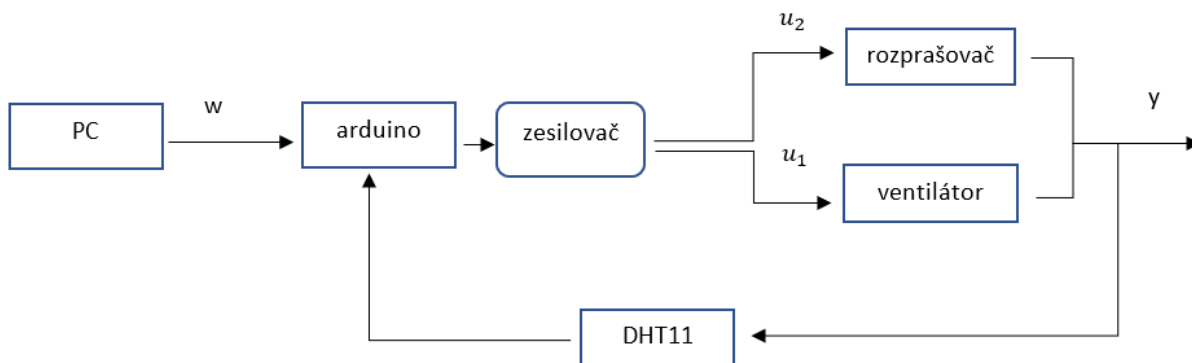
V bodě 4. přestala intenzita venkovního světla klesat, došlo k ustálení napětí na LED čipu ( $u \approx 10,65\text{ V}$ ).

V bodě 5. došlo ke změně požadované intenzity světla ( $w = 60$ ), na regulované veličině se tato změna projeví až v bodě 6. Zpoždění této reakce je způsobeno komunikací, mezi PC a Arduino. Dalším důvodem je, že několik sekund trvá, než regulátor intenzitu nastaví na požadovanou hodnotu. Hlavním důvodem ale je, že Arduino snímá intenzitu jednou za minutu. Podobná situace nastává při navýšení požadované intenzity ( $w = 80$ ) mezi body 7. a 8.

Mezi body 8. a 9. můžeme sledovat, že se ne vždy rovnají požadovaná a regulovaná veličina. Je to způsobeno nízkým výkonem světelného zdroje (zdroj dosahuje maxima) ( $u = 12\text{ V}$ ).

### 5.3 Regulace vlhkosti

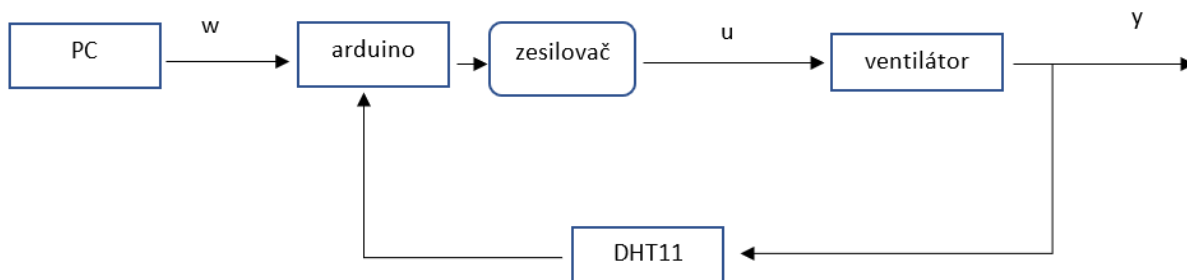
Regulace vlhkosti je prováděna dvoustavově. Přes počítač přivedeme do Arduina požadovanou hodnotu vlhkosti  $w$ . V případě, že je vlhkost v soustavě o 2 % větší, než požadovaná hodnota vlhkosti ( $y \geq w + 2$ ) Arduino sepne ventilátor, který nám vlhkost sníží ( $u_1$ ). Naopak pokud bude platit podmínka, že vlhkost v soustavě bude o 5 % menší, než požadovaná hodnota ( $y \leq w - 5$ ), Arduino sepne čerpadlo ( $u_2$ ), jejíž vývod je připojen na trysku. Tryska rozpráší do ovzduší kapky vody, a tím vlhkost v soustavě zvýší.



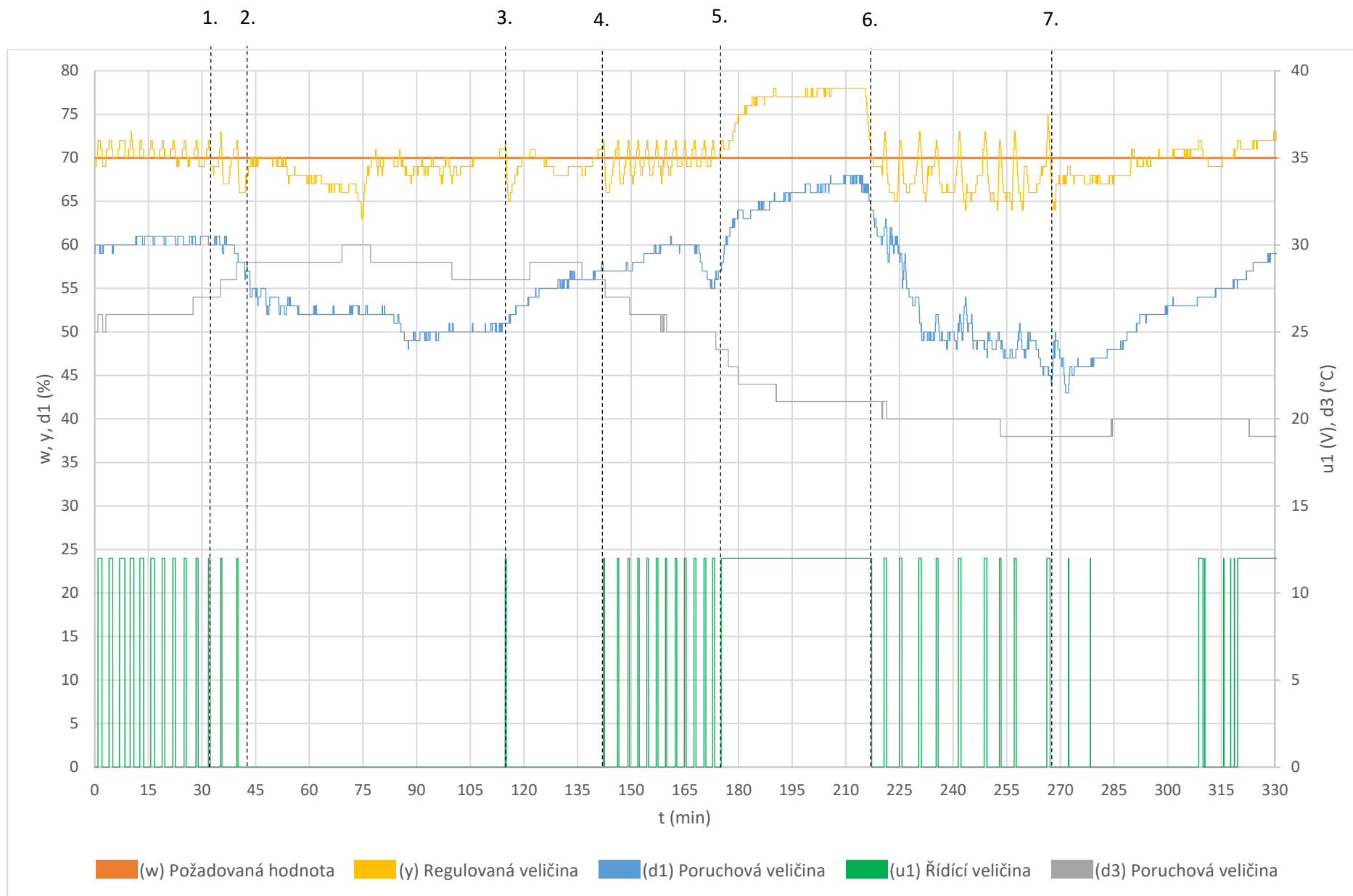
Obr. 5.4 – Regulace vlhkosti

#### Snižování vlhkosti

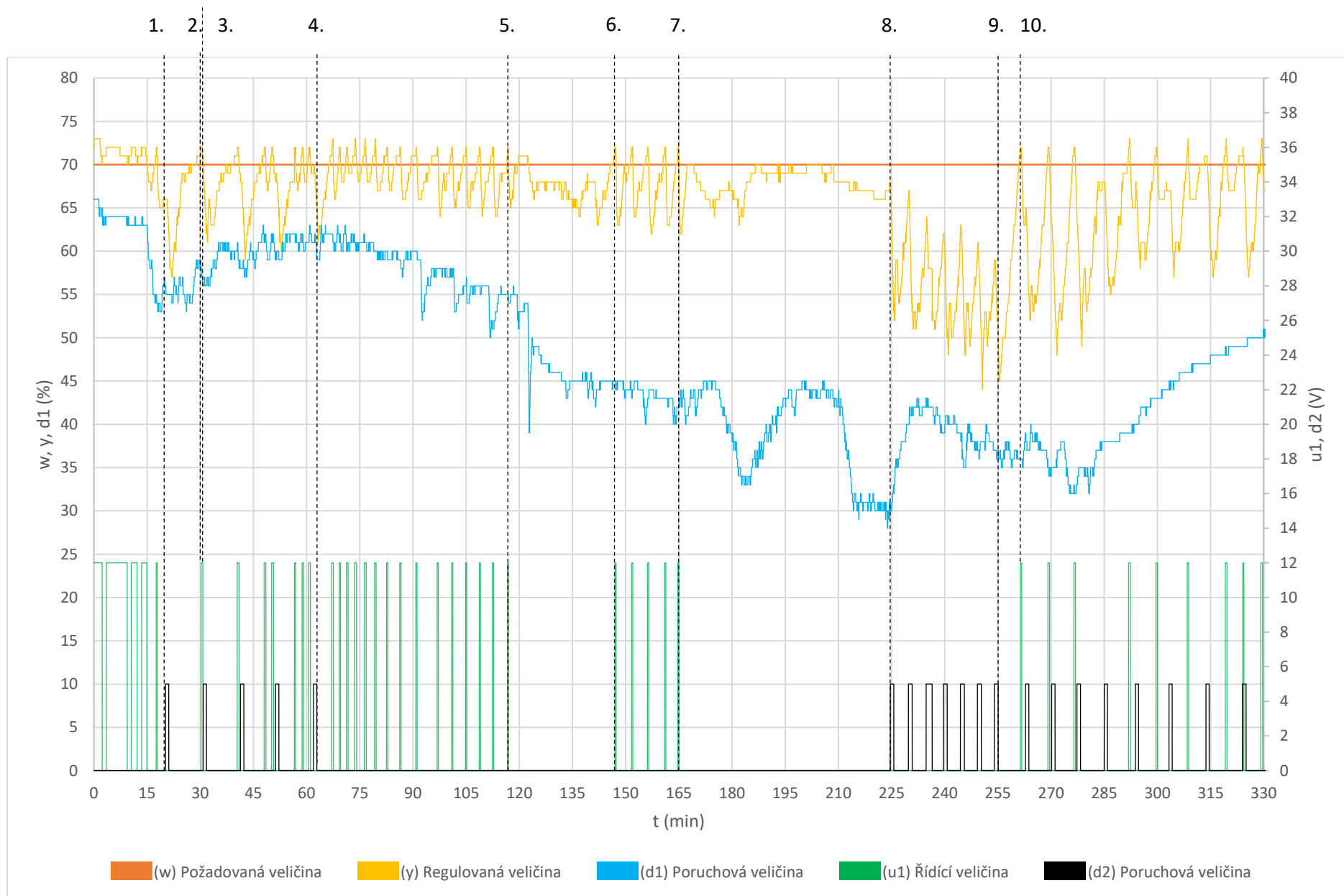
U snižování vlhkosti se s intervalem jedné sekundy ověřuje podmínka, zdali je vlhkost v soustavě o 2 % vyšší než požadovaná hodnota ( $y \geq w + 2$ ). Pokud tato podmínka platí, Arduino sepne ventilátory, které vlhkost sníží na požadovanou hodnotu ( $y = w$ ), poté se ventilátory vypnou.



Obr. 5.5 – Regulační smyčka snižování vlhkosti



*Graf 2 – Naměřené hodnoty regulace snižování vlhkosti*



*Graf 3 – Naměřené hodnoty regulace snižování vlhkosti, ovlivněno regulací teploty*

### Popis veličin:

- Požadovaná hodnota ( $w$ ) – požadovaná vlhkost (%)
- Řídící veličina ( $u_1$ ) – napětí na ventilátoru (V)
- Regulovaná veličina ( $y$ ) – naměřená vlhkost v soustavě (%)
- Poruchová veličina ( $d_1$ ) – naměřená vlhkost vně soustavy (%)
- Poruchová veličina ( $d_2$ ) – napětí na ohřívači (V)
- Poruchová veličina ( $d_2$ ) je na grafu 46× menší než reálná hodnota pro lepší zobrazení
- Poruchová veličina ( $d_3$ ) – naměřená teplota v soustavě (°C)

### Popis naměřených průběhů regulací v grafu 2

Od počátku měření do bodu 2. je zapotřebí snižovat vlhkost v soustavě ( $y$ ) prostřednictvím ventilátoru ( $u_1$ ). Rozkmit hodnoty vlhkosti ( $y$ ) od požadované hodnoty ( $w$ ) je do bodu 1. minimální. Mezi body 1. až 2. je rozkmit výraznější díky nárůstu teploty v soustavě ( $d_3$ ) a poklesu vlhkosti vně soustavy ( $d_1$ ).

Mezi body 2. až 4. je vlhkost v soustavě ( $y$ ) natolik nízká, že kromě bodu 3. není zapotřebí soustavu regulovat. Nízká vlhkost v soustavě ( $y$ ) je ovlivněna vlhkostí vně soustavy ( $d_1$ )

Mezi body 5. a 6. je naopak vlhkost vně soustavy ( $d_1$ ) tak vysoká, že vlhkost v soustavě ( $y$ ) není možné uregulovat. Z grafu tedy vyplývá, že abychom byli schopni soustavu uregulovat, musí být vlhkost vně soustavy ( $d_1$ ) alespoň 8× menší než požadovaná hodnota vlhkosti ( $w$ ).

Od bodu 6. je vlhkost vně soustavy ( $d_1$ ) nižší, soustava se tedy opět stává regulovatelnou. Ve srovnání s ostatními body je rozkmit regulované veličiny ( $y$ ) od požadované hodnoty ( $w$ ) mezi body 6. a 7. mnohem výraznější, a to díky nízké teplotě v soustavě ( $d_3$ ). Teplota se zde pohybuje mezi 21 - 19 °C, kdy nedochází k tak výraznému odpařování, jako v první polovině měření, kde je teplota mezi 25 - 30 °C.

### Popis naměřených průběhů regulací v grafu 3

Na rozdíl od *Grafu.2* je v tomto průběhu regulovaná veličina ( $y$ ) výrazně ovlivněna ohříváním soustavy ( $d_2$ ). Ohřívání sáláním, radikálně snižuje vlhkost vzduchu v soustavě.

V mnoha případech dojde k sepnutí ventilátoru ( $u_1$ ) a hned vzápětí se sepne ohřívač ( $d_2$ ), př. body 2. a 3. To má za následek výrazný pokles vlhkosti v soustavě ( $y$ ). Pokles hodnoty by se dal zmenšit tak, že by nedocházelo ke spínání ventilátoru ( $u_1$ ), nebo alespoň k posunutí horní hranice vlhkosti ( $y$ ), při které dochází k spínání ventilátoru ( $u_1$ ). Tato podmínka by musela platit pouze, pokud dochází k pravidelnému spínání ohřívače ( $d_2$ ). Hodnoty regulované veličiny ( $y$ ) by dosahovaly vyšších hodnot, ale pokles by nebyl tak výrazný.

Mezi body 4. a 8. nezasahuje ohřívač do regulace. Rozkmit regulované veličiny ( $y$ ) je v této oblasti nejmenší.

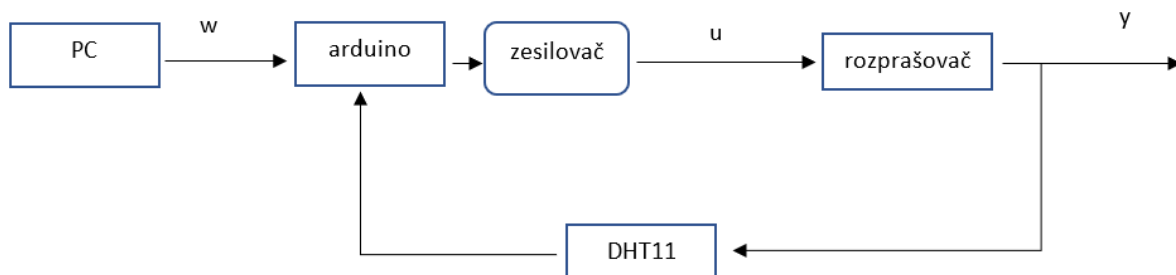
V mezích 5. až 6. nedochází k snižování vlhkosti pomocí ventilace, protože se regulovaná hodnota ( $y$ ) nachází v požadovaných mezích. Totéž platí v oblasti mezi body 7. a 8.

Díky častému ohřívání mezi body 8. a 9., je vlhkost v soustavě ( $y$ ) tak nízká, že není zapotřebí spouštět ventilaci ( $u_1$ ). To se změní až v bodě 10., od něhož se opakují podobné případy, jako v bodech 2. a 3.

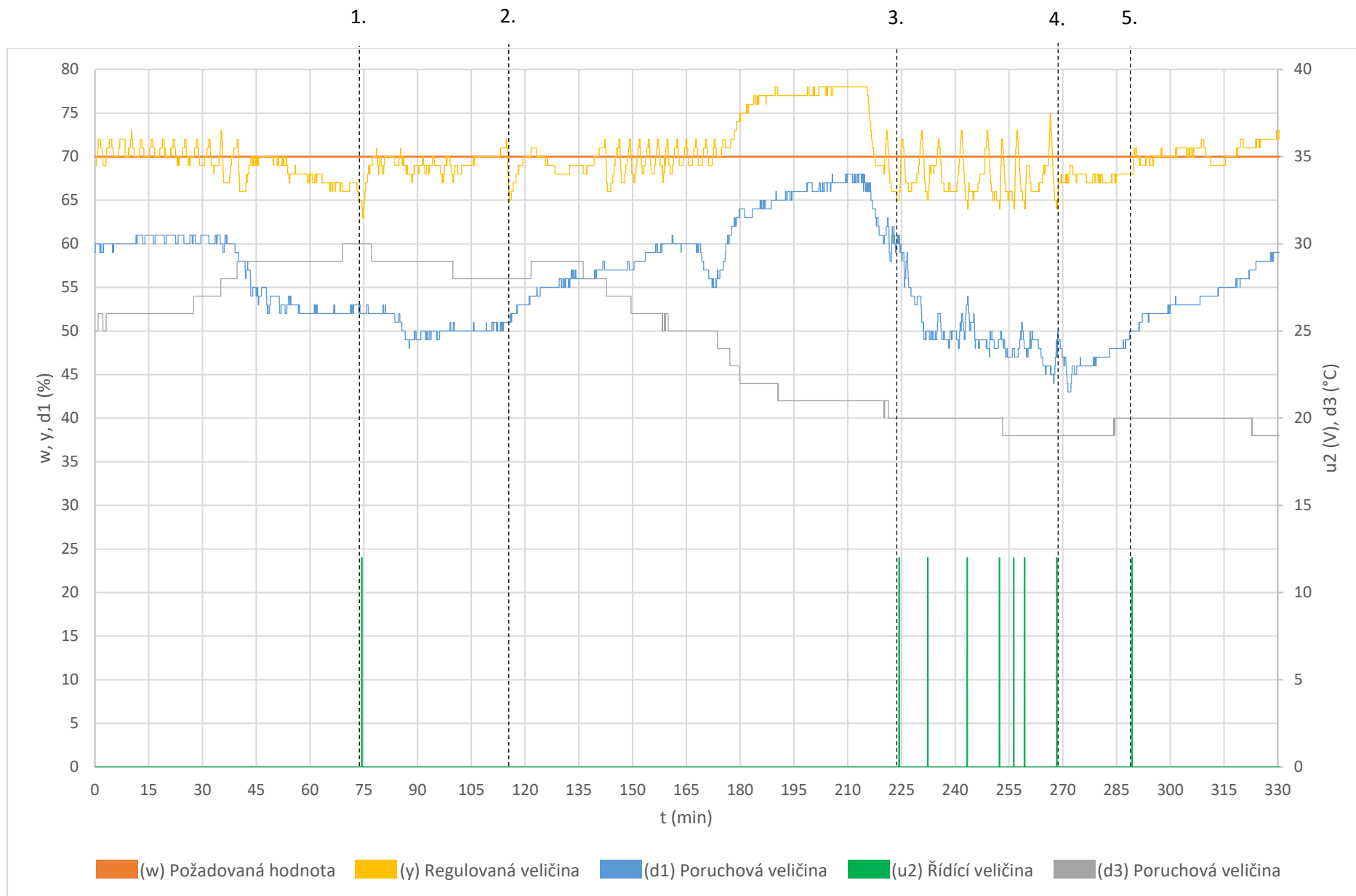


### Zvyšování vlhkosti

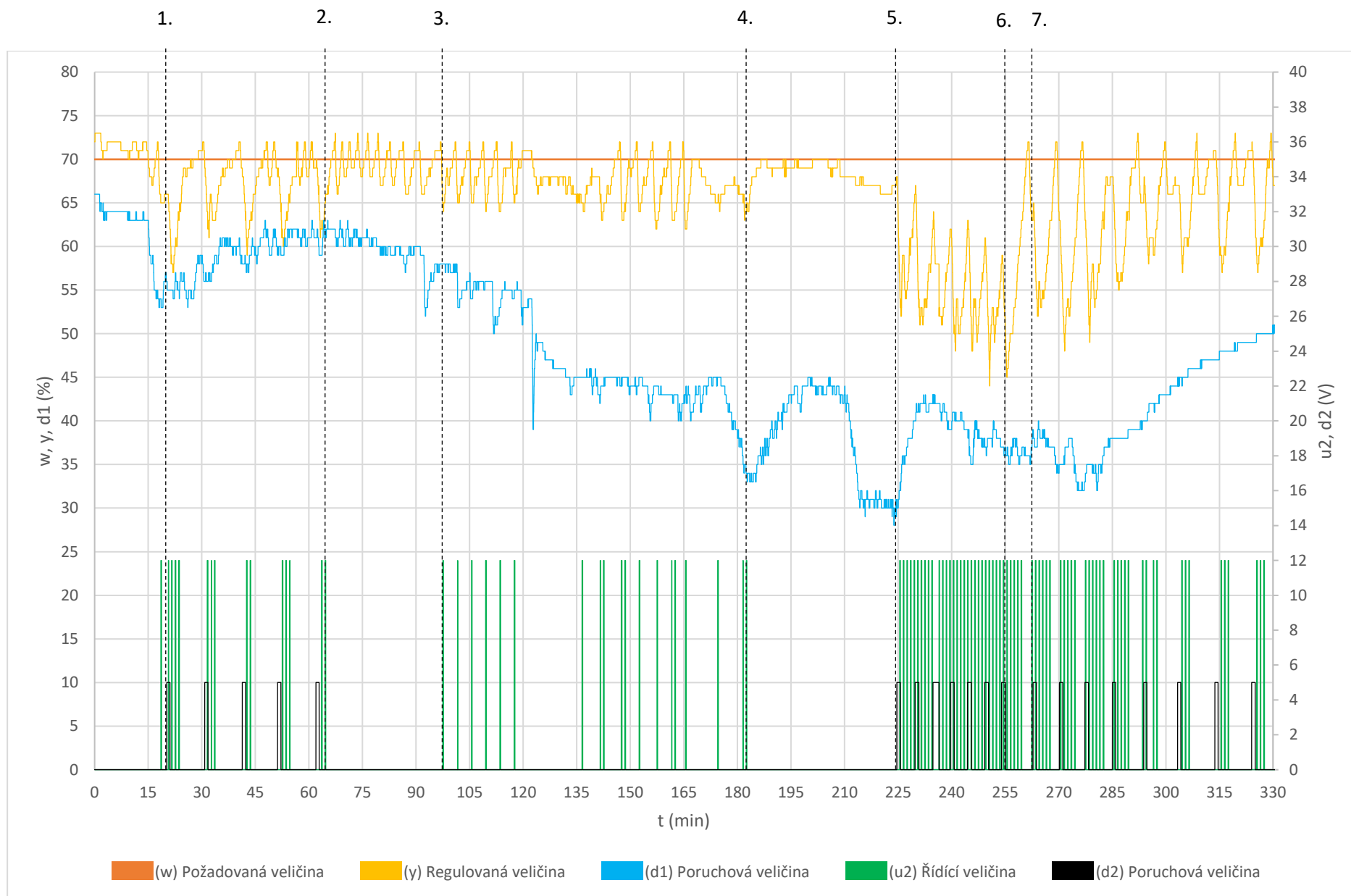
Arduino s minutovými intervaly kontroluje, zdali je hodnota vlhkosti v soustavě o 5 % nižší než hodnota požadovaná. Pokud podmínka ( $y \leq w - 5$ ) platí, Arduino sepne čerpadlo. Čerpadlo poběží 10 sekund, aby rozprášilo vodu do ovzduší a tím navýšilo vlhkost. Minutové intervaly se dodržují, jelikož po rozprašování dochází k pádu kapek vody na listy a zem skleníku, voda se následně odpařuje, a tím také navyšuje vlhkost v soustavě.



Obr. 5.6 – Regulační smyčka zvyšování vlhkosti



Graf 4 – Naměřené hodnoty regulace zvyšování vlhkosti



Graf 5 – Naměřené hodnoty regulace zvyšování vlhkosti, ovlivněno regulací teploty

### Popis veličin:

- Požadovaná hodnota (w) – požadovaná vlhkost (%)
- Řídící veličina (u2) – napětí na rozprašovači (V)
- Regulovaná veličina (y) – naměřená vlhkost v soustavě (%)
- Poruchová veličina (d1) – naměřená vlhkost vně soustavy (%)
- Poruchová veličina (d2) – napětí na ohřivači (V)
- Poruchová veličina (d2) je na grafu 46× menší než reálná hodnota pro lepší zobrazení
- Poruchová veličina (d3) – naměřená teplota v soustavě (°C)

### Popis naměřených průběhů regulací v grafu 4

Grafy 2 a 4 jsou totožné, rozdílem je řídící veličina (u2) v grafu 2 je ventilátor, a v grafu 4 je řídící veličinou (u2) rozprašovač.

Od počátku měření do bodu 3. díky vysoké teplotě v soustavě (d3) dochází k odpařování vody z rostlin, vzduch se tak nasycuje, bez vnějšího zásahu do systému. Dvěma výjimkami v oblasti jsou body 1. a 2. V bodě 1. došlo k sepnutí rozprašovače (u2) a k následnému navýšení vlhkosti (y). V bodě 2. dosáhla regulovaná veličiny (y) hodnoty, kdy je nutné sepnout rozprašovač (u2). K jeho sepnutí nedošlo, protože se regulovaná veličina (y) neudržela v hodnotě 65 % alespoň jednu minutu. Odpařováním vlhkosti z rostlin se regulovaná veličina (y) zvýšila. Arduino nestihlo zaznamenat hodnotu vlhkosti (y) v bodě 2., proto nebyl sepnut rozprašovač.

Mezi body 3. a 4. je vlhkost vně soustavy (d1) nízká. Z důvodu nízké teploty (d3) nedochází k tomu, že rostliny odpařováním navyšují vlhkost dostatečně. Je jí tedy nutné navýšit rozprašovačem (u2).

### Popis naměřených průběhů regulací v grafu 5

Grafy 3 a 5 jsou totožné, rozdílem je řídící veličina (u2) v grafu 2 je ventilátor, a v grafu 4 je řídící veličinou (u2) rozprašovač.

Stejně jako v grafu 4 je v tomto průběhu vlhkost v soustavě (y) ovlivněna ohříváním (d2). Tohoto jevu, si můžeme všimnout již v bodě 1., kde hodnota vlhkosti v soustavě (y) poklesla od požadované hodnoty (w) o 13 % a rozkmit hodnot vlhkosti (y) je velmi výrazný až do bodu 2.

Mezi body 2. a 5. přestal ohřivač zasahovat do regulace. Rozkmit regulované veličiny (y) je v této oblasti nejmenší.

V mezích 2. až 3. nedochází k snižování vlhkosti pomocí ventilace, protože se regulovaná vlhkost (y) nachází v požadovaných mezích. Totéž platí v oblasti mezi body 4. a 5.

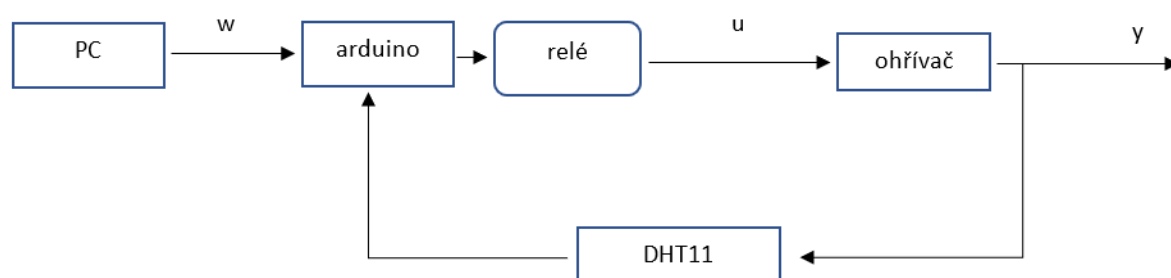
Oblast mezi body 3. až 4. dochází k občasnému navýšení vlhkosti v soustavě (y) pomocí rozprašovače (u2). Výsledek regulace je uspokojivý, protože se vlhkost minimálně odchýlí od požadovaných mezí. Největší odchylkou je pokles o 3 %.

Za bodem 5. můžeme sledovat časté intervaly ohřívání soustavy (d2), které mají za následek to, že soustava není schopna dosáhnout požadované vlhkosti (w). Tato situace se změní až mezi body 6. a 7., kde je interval mezi ohřevem větší. Soustava má tedy dostatek času, aby vlhkost v soustavě (y) dosáhla požadované hodnoty vlhkosti (w). Pokud dochází k pravidelnému ohřevu, změna vlhkosti vně soustavy (d1), je téměř zanedbatelná.

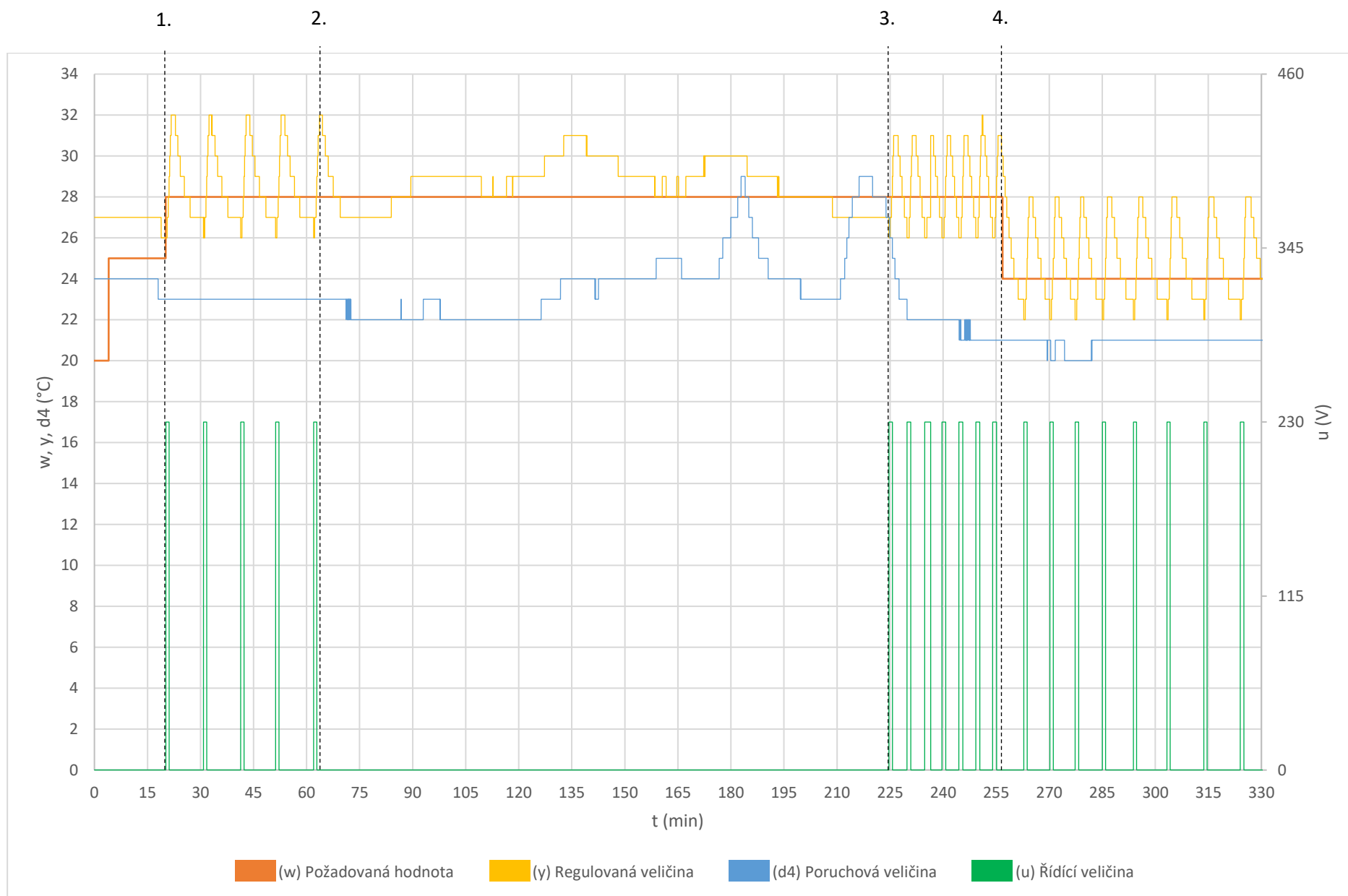
Za bodem 7. si můžeme všimnout velkých poklesů vlhkosti v soustavě ( $y$ ), ale hodnota je schopna dosáhnout požadované hodnoty vlhkosti ( $w$ ).

## 5.4 Regulace Teploty

Regulace teploty se provádí dvoustavově. Arduino přijme z počítače požadovanou hodnotu  $w$ , porovná ji s hodnotou teploty v soustavě  $y$ , kterou získá ze senzoru. Pokud je teplota v soustavě o 2 °C nižší, než požadovaná hodnota ( $y \leq w - 2$ ), Arduino sepne přes relé ohřívač. Pokud teplota v soustavě dosáhne požadované hodnoty ( $y = w$ ), ohřívač se vypne.



*Obr. 5.7 – Regulační smyčka teploty*



Graf 6 – Naměřené hodnoty regulace vlhkosti ovlivněno regulací teploty

Popis veličin:

- Požadovaná hodnota ( $w$ ) – požadovaná teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Řídící veličina ( $u$ ) – napětí na ohřívači ( $\text{V}$ )
- Regulovaná veličina ( $y$ ) – naměřená teplota v soustavě ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Poruchová veličina ( $d_4$ ) – naměřená teplota vně soustavy ( $^{\circ}\text{C}$ )

Popis naměřených průběhů regulací v grafu 6

Od bodu 1. do bodu 5. je požadovaná hodnota teploty ( $w$ ) rovna  $28^{\circ}\text{C}$ , v oblasti mezi body 1. a 2. je nutné soustavu dohřívat pomocí ohřívače ( $u$ ). Teplota v soustavě ( $y$ ), kolísá mezi  $32 - 26^{\circ}\text{C}$  s periodou přibližně 10 minut.

Mezi body 2. až 3. nedochází k regulaci, protože se teplota ( $y$ ) nachází v požadovaných mezích.

Za bodem 3. dochází k poklesu teploty vně soustavy ( $d_4$ ). To má za následek snížení teploty v soustavě ( $y$ ), která poklesne pod požadovanou mez. Až do bodu 4. zde dochází k pravidelnému spínání ohřívače s periodou přibližně 5 minut. Perioda je menší než mezi prvními dvěma body díky nižší teplotě vně soustavy ( $d_4$ ).

V bodě 4. dochází ke změně požadované teploty ( $w$ ) na hodnotu  $24^{\circ}\text{C}$ . Až do konce měření je prováděno pravidelné spínání ohřívače ( $u$ ) s hodnotou periody přibližně 9,2 minuty. Rozkmit hodnot regulované veličiny ( $y$ ) je  $22 - 28^{\circ}\text{C}$ .

## 6 Zhodnocení výsledků

Zavlažování je realizováno jednoduchým, ale účinným způsobem. Arduino spíná zavlažování co 5 minut na 15 sekund. Časový údaj získává Arduino z RTC modulu. Modul má roční výchytku od reálného času přibližně 1,5 minuty. Nabízenou možností kalibrace hodin je získávat čas z počítačové aplikace a podle něj nastavit RTC.

Regulace teploty je snímána senzorem DHT11, který je vzhledem k jeho pořizovací ceně velmi přesný. Pro nastavení teploty je uplatněna dvoustavová regulace, která je dostačující pro udržení teploty v určitých mezích. Akčním členem je ohřívač, který je ideální z hlediska regulace teploty, bohužel výrazně zasahuje do regulace vlhkosti v systému.

Vlhkost v soustavě regulují ze dvou hledisek, a to sice pokud je vlhkost nízká, Arduino se snaží vlhkost navýšit prostřednictvím rozprašovače, naopak pokud je vlhkost moc vysoká Arduino jí snižuje pomocí ventilátoru. Je zde uplatněna dvoustavová regulace podobně, jako u regulace teploty.

Prvním akčním členem je ventilátor, který je dostačující pro vyvětrání vlhkého vzduchu ze soustavy, je ale účinný pouze pokud je vzduch mimo soustavu sušší než vzduch v soustavě. Neplní tedy funkci vysoušeče vzduchu, ale pouze vzduch v soustavě vymění.

Druhým akčním členem je rozprašovač, v podobě membránového čerpadla a trysky. Tento jednoduchý systém dokáže snadno navyšovat vlhkost v soustavě.

U regulace intenzity světla je použit pro snímání světla fotorezistor. Údaje získané ze snímače jsou dostačující k docílení přesného měření. Je ale zapotřebí seřadit snímač PAR metrem, abychom docílili přesné hodnoty osvětlení, které rostliny potřebují. Pro regulaci je v softwaru Arduino uplatněn PID regulátor, který je ideální pro nastavení přesné hodnoty. Akčním členem u regulace světla je LED čip, jeho intenzita je snadno nastavitelná pomocí PWM.

Nepostradatelnou součástí celého systému jsou zesilovače. U zesilování signálu z Arduina na 12 V je hlavním výkonovým prvkem MOSFET tranzistor. U regulace vlhkosti pracuje jako spínač a u regulace intenzity světla pracuje jako PWM zesilovač. Pro obě varianty je MOSFET tranzistor ideální volbou. Zesilovacím prvkem u regulace teploty je relé, použil jsem jej díky jeho schopnosti spínat střídavé napětí o vysokém výkonu.

Aplikace je tvořena jednoduše a přehledně, aby byla uživatelsky přívětivá. Pro jednotlivé regulace by bylo možné použít samotnou aplikaci, která by byla schopna docílit všech potřebných požadavků. Jako vyhodnocovací člen jsem zvolil Arduino, protože je schopno udržet systém v chodu i bez nutnosti propojení s nadřazeným systémem. V mém případě tedy aplikace slouží k nastavení požadovaných hodnot (teploty, vlhkost, intenzity světla a doby osvitů) a o konkrétní regulaci se už stará software v Arduinu. Druhou funkcí aplikace je sběr naměřených dat.



## Závěr

Úvod práce se zabývá problémy klasického pěstování v půdě a výhodami alternativního novodobého pěstování. Pro každou metodu jsou popsány principy jejich funkce, výhody a nevýhody pěstování v jednotlivých systémech. Druhá podkapitola je věnována částem systému, potřebným pro realizaci aeroponického skleníku. Jsou zde popsány uplatněné senzory a akční členy systému.

První kapitola je věnována problematice použitých senzorů. Jako první je zde popsána obecná funkce snímání dané fyzikální veličiny, a následně podrobněji popisují jednotlivé typy snímačů. Jsou zde popsány nejen snímače použité při realizaci práce, ale také další alternativní možnosti.

Druhá kapitola je zaměřena na komunikace Arduina s použitými snímači a s nadřazeným počítačovým systémem v podobě počítačové aplikace. Popis se zabývá datovými přenosy, jako (UART, I2C nebo sériovým rozhraním „single wire“). Jednotlivé kapitoly se dělí na popis funkce komunikace a schématem zapojení uplatněným při realizaci.

Třetí kapitola obsahuje napájecí schéma popisující jednotlivé napěťové úrovně. Následují čtyři podkapitoly: vstupní, vyhodnocovací, zesilovací a výstupní zařízení. V části vstupní zařízení je krátký popis parametru použitých senzorů. Vyhodnocovacího zařízení se zabývá popisem Arduina. V podkapitole zesilovacího zařízení je návrh desky plošných spojů, jsou zde také zmíněné parametry relé. Poslední částí jsou výstupní zařízení, jejich napájecí napětí a jiné potřebné informace.

Ve čtvrté kapitole je uveden popis aplikace ve vývojovém prostředí Labview od společnosti National Instruments. V první části je zobrazen náhled aplikace z pohledu uživatele a následný popis jejího ovládání. V druhé části se věnuje popisu funkce aplikačního programu.

Pátá kapitola se zabývá realizací práce. Je zde popis funkce jednotlivých regulačních smyček v Arduino programu. Dále jsou zde zobrazeny naměřené průběhy regulace, kde můžeme sledovat, jak se dané regulační smyčky chovají, jak se navzájem ovlivňují a jak reagují na zásahy z vnějšku.

Při výběru komponentů k bakalářské práci bylo dbáno hlavně na jejich cenu. Většina z nich byla zakoupena na E-shopech Aliexpres nebo eBay, a to konkrétně vstupní periferie (DHT11, fotorezistory, RTC) a výstupní periferie (čerpadla, LED čip). Ze stejného zdroje jsem pořizoval zesilovací části systému, jako (MOSFET tranzistory, operační zesilovače a relé).

Aeroponie se v dnešní době řadí mezi nejúspěšnější metodu pěstování rostlin. Ceny takovýchto systémů jsou díky nízké konkurenci výrobců velmi vysoké. Jsou také velmi náročné na údržbu. Díky automatizaci většiny procesů se ale aeroponie stává atraktivnější. Systémy jsou vhodné zejména pro pěstování v budovách, kde právě aeroponie společně s hydroponií umožnily díky nízké hmotnosti vertikální pěstování.

Právě tento systém se mi podařilo zrealizovat s možností vlastního nastavení teploty, vlhkosti a intenzity osvětlení. Reakce systému na požadovanou hodnotu je u každé regulované veličiny odlišný, ale řádově nepřekračuje jednotky minut. Pro rostliny je tato doba reakce zanedbatelná.

Ve fotodokumentaci jsou fotky rostlin, které v systému vyrostly od sazenice. Z fotek je jasné, že se rostlinám v systému velice daří. Jsou zde pěstována například rajčata nebo papriky. U většiny rostlin

se od vložení do systému projevilo zrychlení růstu, a rozvětvení kořenového systému. Rajčata už také začala plodit. Bohužel plody ještě nedozrály, proto nedošlo ke srovnání chutí. Plody vypěstované v těchto systémech mají výraznější chuť než volně dostupné plody, a to díky většímu přísunu živin.

## Seznam použité literatury

- [1] MIKAN, Jaroslav. *Měření plynu*. Říčany u Prahy: GAS, 2003. ISBN 80-732-8053-1.
- [2] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>
- [3] PLCH, Jiří. *Světelná technika v praxi*. Praha: IN-EL, 1999. Knihovna Elektro. ISBN 80-86230-09-0.
- [4] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://www.electronics-tutorials.ws/io/io\\_4.html](https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_4.html)
- [5] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/611>
- [6] VOBECKÝ, Jan a Vít ZÁHLAVA. *Elektronika: součástky a obvody principy a příklady*. Praha: GRADA Publishing, 2000. ISBN 80-247-9062-9.
- [7] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>
- [8] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/termistor-ntc-ntc-640-12k>
- [9] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/615>
- [10] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/termistor-ptc-kty81-210>
- [11] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <http://www.zavavov.cz/cz/elektrotechnika/komunikacni-sbernice/67-uart-usart-komunikujte-seriove-po-dvou-vodicich/>
- [12] *Datový list* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [13] *Datový list* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://datasheet4u.com/datasheet-parts/DHT11-datasheet.php?id=785590>
- [14] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://components101.com/dht11-temperature-sensor>
- [15] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/436>
- [16] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>

- [17] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32760631393.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.27424c4dI5DtKt>
- [18] *Datový list* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [19] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/soucastky/id:4420/rtc-obvody-a-oscilatory-em3027-v3025-em7604-presny-cas-nad-zlato>
- [20] GERTZ, Emily a Patrick DI JUSTO. *Environmental Monitoring with Arduino*. Sebastopol: O'Reilly, 2012. ISBN 978-1-449-31056-1.
- [21] *Datový list* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
- [22] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- [23] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.amazon.in/Arduino-Board-CH340-ATmega328P-Compatible/dp/B07VH4RF58>
- [24] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/33015728138.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43be42b350ikfz&algo\\_pvid=72e8338a-35e6-42fb-979c-9b7d88a6d9f2&algo\\_expid=72e8338a-35e6-42fb-979c-9b7d88a6d9f2-1&btsid=0ab6f81e15892209436494738e618e&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603\\_](https://www.aliexpress.com/item/33015728138.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.43be42b350ikfz&algo_pvid=72e8338a-35e6-42fb-979c-9b7d88a6d9f2&algo_expid=72e8338a-35e6-42fb-979c-9b7d88a6d9f2-1&btsid=0ab6f81e15892209436494738e618e&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_)
- [25] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/33005292732.html?spm=a2g0o.detail.1000013.5.149f7749u8PUJe&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.14977.165002.0&scm\\_id=1007.14977.165002.0&scm-url=1007.14977.165002.0&pvid=eb477923-7c4f-482b-ab56-6b0e377f014a&t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller.scm-url:1007.14977.165002.0,pvid:eb477923-7c4f-482b-ab56-6b0e377f014a,ttp\\_buckets:668%230%23131923%2314\\_668%23808%234093%23839\\_668%23888%233325%236\\_668%232846%238115%23810\\_668%232717%237567%23927](https://www.aliexpress.com/item/33005292732.html?spm=a2g0o.detail.1000013.5.149f7749u8PUJe&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.14977.165002.0&scm_id=1007.14977.165002.0&scm-url=1007.14977.165002.0&pvid=eb477923-7c4f-482b-ab56-6b0e377f014a&t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller.scm-url:1007.14977.165002.0,pvid:eb477923-7c4f-482b-ab56-6b0e377f014a,ttp_buckets:668%230%23131923%2314_668%23808%234093%23839_668%23888%233325%236_668%232846%238115%23810_668%232717%237567%23927)
- [26] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/prenosny-ohrivac-vzduchu-ptc-s-ventilatorem-fk-30-o-vykonu-1-kw-2-kw-x11584>
- [27] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/arctic-p14-140-mm/252916/produkt>
- [28] *Internetový obchod* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/50W-COB-LED-Chip-Full-Spectrum-Floodlights-Plant-Grow-Lamp-Light-Source-DC12V/283457613721?hash=item41ff63ef99:g:a3IAAOSwtpFcuo4x>
- [29] *Elektronický článek* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>

## **Seznam příloh**

Příloha 1. – Arduino program

Příloha 2. – LabVIEW program

Příloha 3. – Naměřená data

Příloha 4. – Návrh DPS

Příloha 5. – Fotodokumentace systému